Б.Г.СТЕПАНОВ
В.В.ФРОЛОВ



ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС РАДИОЛЮБИТЕЛЯ

ИЗМЕРИТЕЛЬ RCL

ИСПЫТАТЕЛЬ ТРАНЗИСТОРОВ

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРОБНИК

ББК 32.842
С79
УДК 621.317—181.4

Степанов Б. Г., Фролов В. В.

С79 Измерительный комплекс радиолюбителя. - М.: Радио и связь, 1982. — 80 с., ил. – (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1053).

60 к.

Рассказывается о том, как в любительских условиях рассчитать и построить сравнительно несложный комплекс измерительных приборов, необходимых для налаживания различной радиоаппаратуры. Описываемый измерительный комплекс отмечен поощрительной премией на 28-й Всесоюзной выставке творчества радиолюбителей-конструкторов ДОСААФ.

Рассчитана на широкий круг радиолюбителей и может служить полезным пособием для радиокружков школ и внешкольных учреждений, занимающихся изучением и конструированием радиоизмерительных приборов.

С $\frac{2402020000\text{-}051}{046(01)\text{-}82}$ 197-82

ББК 32.842
6Ф2.08

РЕЦЕНЗЕНТ канд. техн. наук С. А. БИРЮКОВ

Редакция научно-популярной литературы и массовой радиобиблиотеки

Борис Григорьевич Степанов и Владимир Васильевич Фролов

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС РАДИОЛЮБИТЕЛЯ

Редактор издательства Н. В. Ефимова

Обложка художника В. Д. Козлова

Художественный редактор Г. Н. Кованов

Технический редактор Г. И. Колосова

Корректор Т. С. Власкина

ИБ № 237

Сдано в набор 23.11.81 г. Подписано в печать 12.01.82 г.

Т-03818 Формат 60×90/16 Бумага тип. № 1 Гарнитура литературная

Печать высокая Усл. печ. л. 5,0 Усл. кр.-отт. 5,5 Уч.-изд. л. 7,54

Тираж 40 000 экз. Изд. № 19450 Зак. № 158 Цена 60 к.

Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Главпочтамт, а/я 693

Типография издательства «Радио и связь» Госкомиздата СССР
101000 Москва, ул. Кирова, д. 40

ПРЕДИСЛОВИЕ

Изготовление и налаживание даже несложных радиоэлектронных устройств практически невозможно без измерительной аппаратуры, хотя бы самой простейшей. Без нее нельзя обойтись и при ремонте телевизора, радиоприемника или магнитофона. Оснащение своей лаборатории радиолюбитель обычно начинает либо с покупки ампервольтомметра, либо с самостоятельной сборки простейших измерительных приборов — миллиамперметра и вольтметра постоянного тока, испытателя маломощных транзисторов. Действительно, на первых порах большего и не требуется: приемник прямого усиления или простой усилитель низкой частоты (УНЧ) можно вполне удовлетворительно наладить и с их помощью. Однако добиться оптимальных характеристик одним лишь ампервольтметром уже сложно. Простейших измерительных приборов оказывается тем более недостаточно, когда радиолюбитель по мере накопления опыта переходит к конструированию сложных радиоэлектронных устройств. Очень трудно, например, по-настоящему наладить хороший УНЧ без низкочастотного генератора, вольтметра переменного тока и измерителя нелинейных искажений, а супергетеродинный приемник без генератора сигналов высокой частоты и вольтметра переменного тока.

И вот в домашней лаборатории радиолюбителя постепенно появляются все новые и новые измерительные приборы. Каждый из них, как правило, имеет свой собственный стрелочный измеритель (чаще всего микроамперметр) и источник питания. Оснащение любительской лаборатории требует значительных затрат времени и средств, сами измерительные приборы занимают много места. Если принять во внимание, что в радиолюбительской практике крайне редко встречается ситуация, требующая одновременного применения двух приборов со стрелочными измерителями, то более экономичным и более целесообразным представляется создание измерительного комплекса на основе одного микроамперметра и единого блока питания. Подобные комплексы нередко экспонируются на радиолюбительских выставках, описаны в литературе. Вместе с тем объединение в одном корпусе пяти—семи измерительных приборов существенно усложняет конструкцию в целом, требует тщательной развязки и экранировки отдельных приборов, применения сложной коммутации. К тому же такие комплексы не очень удобны для повторения, особенно начинающему радиолюбителю. Изготовление достаточно сложного устройства, каким является измерительный комплекс, может оказаться ему просто не по силам. Кроме того, повторяя такой комплекс, он вынужден порой делать приборы, которые ему пока не нужны.

Но есть вариант построения измерительного комплекса, который, сохраняя все преимущества, позволяет обойти упомянутые выше сложности. Можно изготовить один основной блок микроамперметра и сетевого или батарейного источника питания, а все входящие в измерительный комплекс приборы выполнить в виде сменных блоков-приставок. Этот вариант привлекателен тем, что радиолюбитель получает возможность развивать свой комплекс в нужном ему направлении, дополняя его новыми сменными блоками, совершенствуя ранее собранные приставки, причем с минимальными затратами времени и средств, так как основной блок и остальные приставки остаются при этом без изменений. Особенно удобен подобный вариант для начинающего радиолюбителя. Повторение комплекса он может начать с изготовления основного блока и двух-трех простейших приставок, а потом, по мере накопления опыта, дополнять его более сложными приборами.

Именно этот вариант построения измерительного комплекса и был взят за основу при разработке приборов, описание которых приведено в книге. Создан комплекс в радиотехнической лаборатории журнала «Радио». Основной его блок, выполненный в виде своеобразной кассеты, содержит микроамперметр и источник питания (батарею напряжением 9 В или сетевую приставку с таким же выходным напряжением). Блок рассчитан на одновременную установку любых трех приборов-приставок, выполненных конструктивно совершенно одинаково (одинаковы их внешние размеры, органы присоединения). Это позволяет объединять в комплексе практически все приборы, необходимые для налаживания различных любительских устройств. Так, при регулировке УНЧ могут быть использованы входящие в комплекс генератор сигналов звуковой частоты, милливольтметр переменного тока и измеритель нелинейных искажений, при настройке супергетеродинного радиоприемника — генератор сигналов высокой звуковой частоты и вольтметр постоянного тока (для подгонки режимов работы транзисторов) или переменного тока (для измерения сигнала на выходе детектора или УНЧ). В измерительный комплекс входят также универсальный пробник для проверки различной аппаратуры, измеритель сопротивления, емкости и индуктивности (RCL), испытатель маломощных транзисторов, миллиамперметр постоянного тока. Особенностью комплекса является то, что при всех видах измерений (кроме проверки транзисторов) используется одна и та же линейная шкала микроамперметра.

Измерительный комплекс не содержит дефицитных деталей, сложных узлов и может быть вполне повторен в домашних условиях.

Прежде чем перейти к описанию измерительного комплекса, необходимо сказать несколько слов о погрешностях измерений. Хорошо известно, что точно измерить какую-либо величину невозможно. Обусловливается это как несовершенством приборов, так и субъективными ошибками, допускаемыми человеком при отсчете показаний и последующей обработке данных. Для самодельных измерительных приборов, как правило, определяющей является погрешность, связанная с неточностью калибровки. Самым оптимальным является вариант, когда в качестве эталона используется заводской измерительный прибор, прошедший государственную поверку. Для таких приборов точность измерений известна и гарантирована. Однако подобная возможность у радиолюбителей бывает редко. Чаще в их распоряжении оказываются измерительные приборы, отслужившие свой срок на предприятиях или в институтах и переданные в самодеятельные радиоклубы или радиокружки. Погрешность измерений таких приборов может превышать паспортные данные, но обычно она остается вполне приемлемой для калибровки самодельной измерительной аппаратуры.

Иногда (например, в сельской местности) может возникнуть ситуация, когда в распоряжении радиолюбителя нет и таких приборов. Калибровать приборы измерительного комплекса в этом случае придется косвенными методами: звуковой генератор по музыкальным инструментам, генератор высокой частоты по радиовещательному приемнику и т. д. Наш быт настолько оснащен различной радиоэлектронной техникой, что надо только подыскать подходящий источник образцовых сигналов. Возьмем, например, телевизор. Сигнал его генератора строчной развертки (15 625 Гц в режиме синхронизации сигналом, поступающим от телецентра) можно использовать для калибровки методом биений как низкочастотных, так и высокочастотных генераторов. Конечно, погрешность измерений приборами, откалиброванными таким образом, может быть весьма значительной, и их правильнее будет называть индикаторами. Не стоит огорчаться: при первой же возможности вы проверите их по аппаратуре, изготовленной на заводе или квалифицированным радиолюбителем. А пока они будут хорошим подспорьем в повседневной работе: при ремонте бытовой аппаратуры или работе над новыми конструкциями. Ведь нередко измерения носят относительный характер, и точность измерительного прибора не так уж существенна.

Авторам будет интересно узнать, с какими трудностями вы встретились при изготовлении измерительного комплекса, описанного в этой книге, какими приборами дополнили его. Отзывы о книге просим посылать по адресу: 101000, Москва, Чистопрудный бульвар, 2, издательство «Радио и связь», редакция научно-популярной литературы и массовой радиобиблиотеки.

Авторы

ОСНОВНОЙ БЛОК КОМПЛЕКСА

Основной блок (рис. 1) представляет собой своеобразную кассету для измерительных приборов-приставок, выполненных в виде сменных блоков. В нем смонтированы микроамперметр, батарея питания с выключателем и органы коммутации.

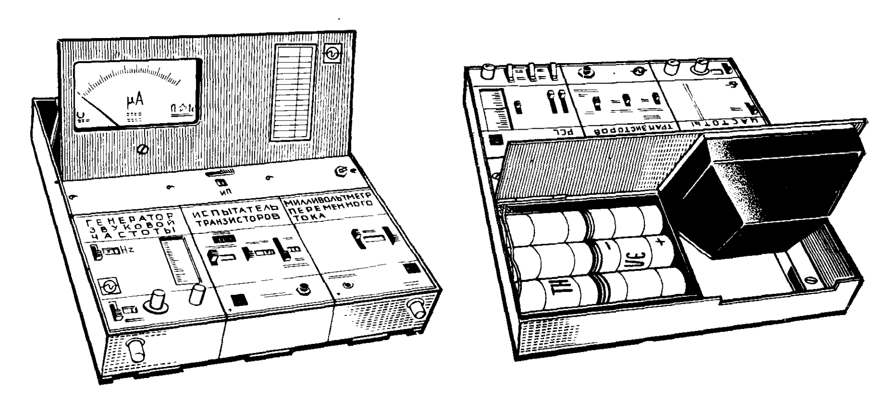


Рис. 1

Принципиальная схема блока показана на рис. 2. Как видно из схемы, микроамперметр $ИП_1$ с помощью переключателя $В_1$ можно подключить к любому из трех разъемов $Ш_1$—$Ш_3$ или (через резистор R_1) к источнику питания $Б_1$ для контроля его напряжения. Выводы микроамперметра подключаются к контактам *3* и *6* разъемов $Ш_1$—$Ш_3$, напряжение питания подается на контакты *2* и *7*. Одна из секций выключателя питания $В_2$ (по схеме нижняя) соединена с контактами *4* и *5*. Сделано это для того, чтобы этим же выключателем можно было коммутировать цепь питания электронного вольтметра постоянного тока. Дело в том, что основой этого прибора-приставки является так называемый баланс-

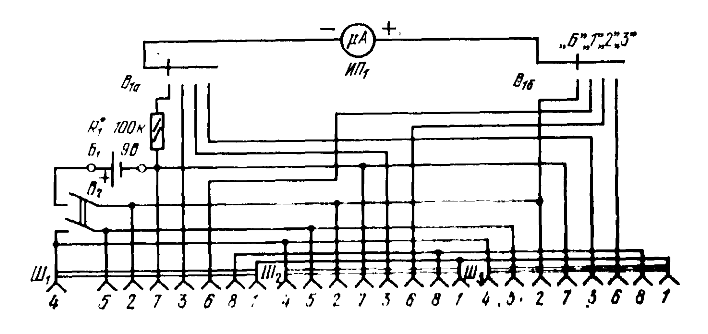


Рис. 2

ный усилитель, и для того, чтобы один из входных зажимов вольтметра можно было соединять с общим проводом остальных сменных блоков, его необходимо питать от отдельного источника, гальванически не связанного с батареей $Б_1$. Наконец, одноименные контакты *1* и *8* разъемов $Ш_1$—$Ш_3$ соединены для осуществления связи сменных блоков между собой. Это позволило упростить конструкцию некоторых блоков комплекса, например отказаться от встроенных генераторов НЧ в измерителе *RCL* и генераторе сигналов высокой частоты: для их работы используют входящий в комплекс генератор сигналов звуковой частоты.

Конструкция и детали. В качестве гнездовых частей разъемов $Ш_1$—$Ш_3$ в основном блоке комплекса применены керамические октальные ламповые панели ПЛ-2к (можно применять и пластмассовые панели ПЛ-1п, ПЛв-1п, ПЛв-2п и т. п.). Ответные части разъемов — пластмассовые цоколи радиоламп октальной серии, установленные на сменных блоках. Переключатель $В_1$ движковый, от транзисторного радиоприемника «Сокол» (двухпозиционный на шесть направлений). Чтобы превратить его в четырехпозиционный на два направления, необходимо снять фиксирующие проволочные упоры, удалить по одному крайнему неподвижному контакту в каждом ряду, а подвижные контакты-перемычки (их надо оставить четыре) переставить в движке так, чтобы схема коммутации соответствовала показанной на рис. 3, *а*. Схема монтажных соединений неподвижных контактов между собой и с остальными деталями комплекса показана на рис. 3, *б*.

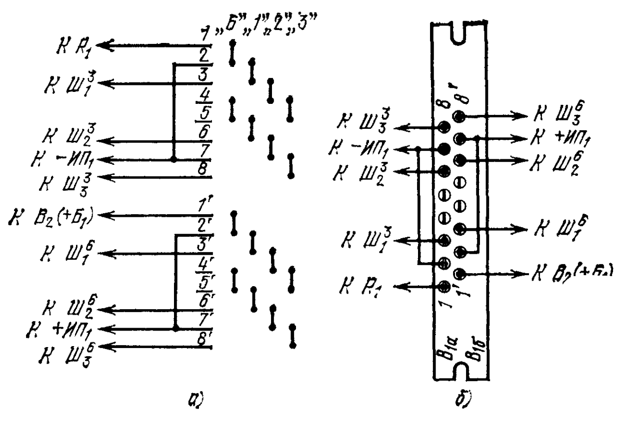


Рис. 3

Для коммутации цепей питания ($В_2$) использован двухполюсный микротумблер МТ-3. Его можно заменить более распространенными тумблерами, например типа ТП1-2, однако в этом случае диаметр отверстия под него необходимо увеличить до 12,5 мм. Батарея питания $Б_1$ составлена из шести последовательно соединенных элементов 373. В комплексе применен микроамперметр М24 класса 1,0 с током полного отклонения 100 мкА и внутренним сопротивлением 662 Ом; рабочее положение шкалы вертикальное.

Устройство основного блока и чертежи его деталей показаны соответственно на рис. 4 и 5. Шасси *1* (рис. 4) основного блока изготовлено из листового алюминиевого сплава АМц-П толщиной 1,5 мм и обклеено декоративной поливинилхлоридной пленкой, имитирующей ценные породы древесины. На нем закреплены задняя стенка *14*, узел коммутации, кассета с батареей питания *16* и откидная панель с микроамперметром. Задняя стенка соединена с шасси с помощью дюралюминиевых уголков *12* и *13* (10×10×2 мм) и винтов *5* (М3×4 с потайной головкой). Вырез в правой части стенки (рис. 5) необходим для облегчения захвата откидной панели при подъеме.

Узел коммутации (см. рис. 4 и 5) состоит из стенки *37*, на которой винтами *26* (М3×6) с гайками М3 закреплены ламповые панели *25* и панели управ-

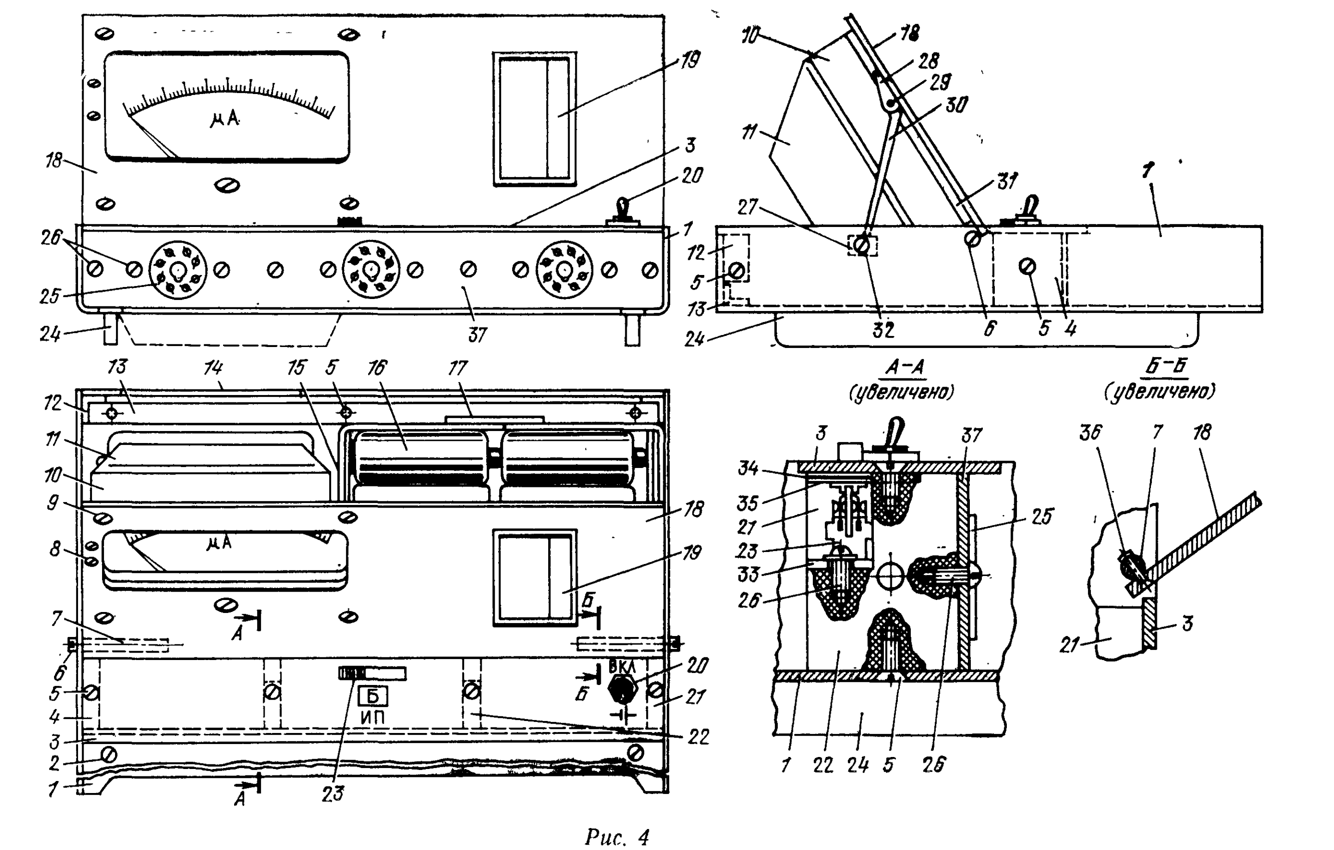
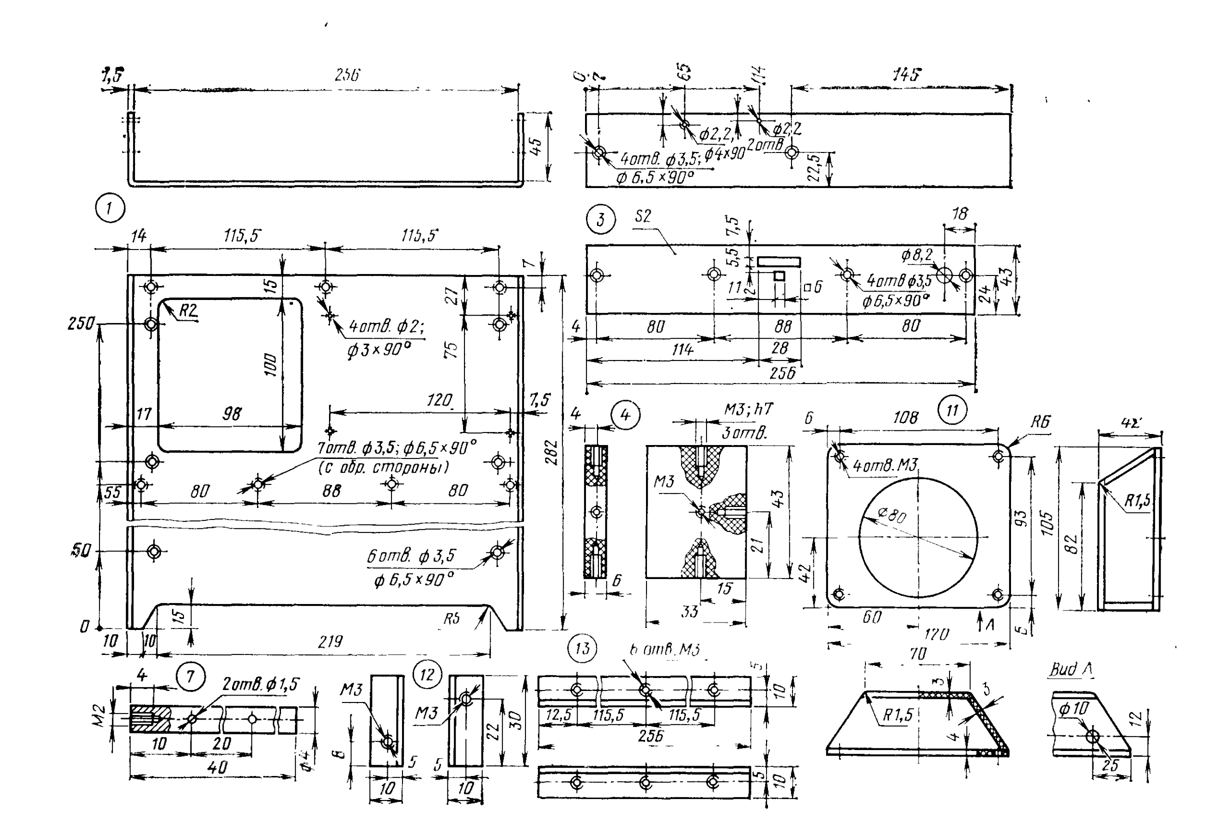


Рис. 4


1
3
4
7
11
12
13
4отв. ф2; ф3×90°
7отв. ф3,5; ф6,5×90° (с обр. стороны)
6отв. ф3,5 ф6,5×90°
4отв. ф3,5; ф6,5×90°
ф2,2; ф4×90
2отв.
4отв ф3,5 ф6,5×90°
M3; h7 3отв.
4отв. M3
2отв. ф1,5
6 отв. M3
Вид А

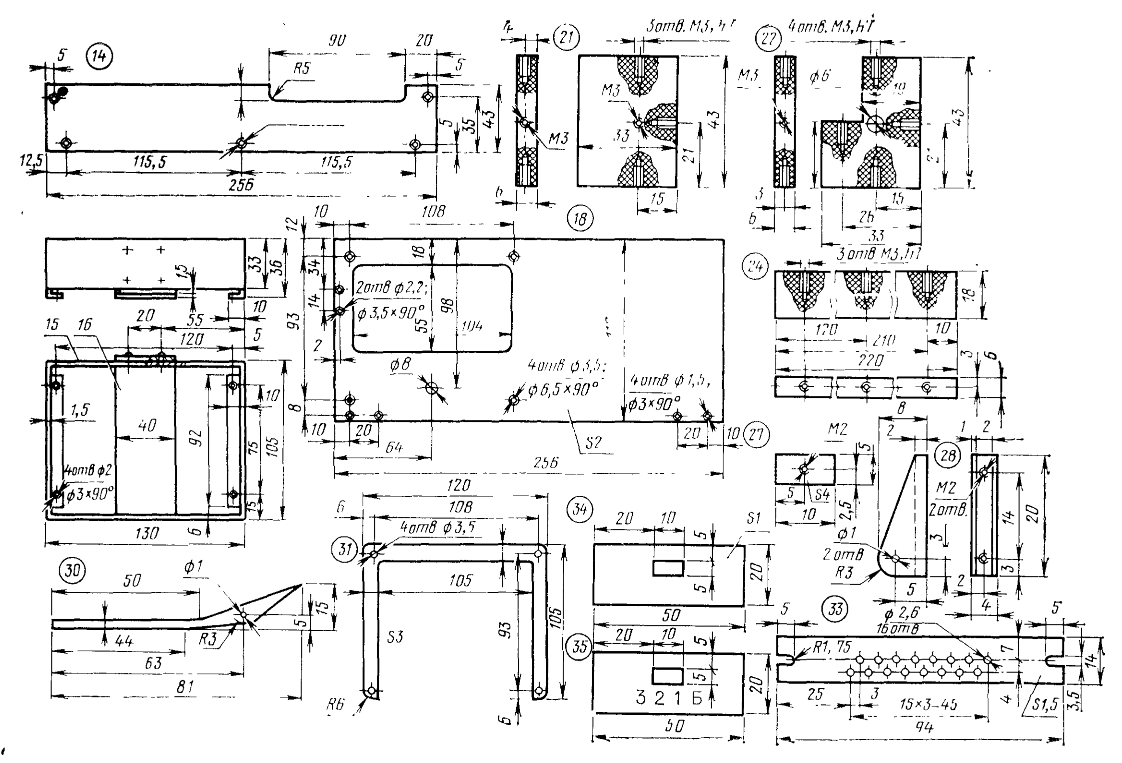

14
R5
21
M3
18
22
4отв. M3
2отв ϕ2,2;
ϕ3,5×90°
4отв ϕ3,5;
ϕ6,5×90°
4отв ϕ1,5;
ϕ3×90°
S2
24
3отв M3
4отв ϕ2
ϕ3×90°
27
M2
S4
28
2отв.
ϕ1
R3
31
4отв ϕ3,5
S3
R6
30
34
S1
35
3 2 1 Б
33
ϕ 2,6
16отв
R1, 75
15×3=45
S1,5

Рис. 5

ления 3 с выключателем 20 (B_2), платы 33, на которой смонтирован переключатель 23 (B_1), и кронштейнов 4, 21 и 22. Плата 33 и стенка 37 закреплены на кронштейнах теми же винтами, что и ламповые панели, панель 3 — винтами 5 (М3×6 с потайной головкой). Винты 5 использованы и для крепления кронштейнов к шасси.

Панель 3 и стенка 37 изготовлены из листового дюралюминиевого сплава Д16-Т толщиной 2 мм, плата 33 — из стеклотекстолита, кронштейны 4, 21 и 22 — из органического стекла (можно и из текстолита или дюралюминия) толщиной 6 мм.

В панели управления 3 выпилены два прямоугольных отверстия, одно из которых предназначено для прохода ручки переключателя 23, другое — для индикации его положения. Цифры «1», «2» и «3» (см. рис. 3) соответствуют условной (слева направо) нумерации сменных блоков, установленных в кассете, буква «Б» — положению переключателя при контроле напряжения источника питания. Они нанесены на полоску плотной бумаги 35, надетую на ручку переключателя 23, и защищены от повреждений прозрачной накладкой 34 из органического стекла толщиной 1 мм.

Основой кассеты батареи питания (рис. 6, *а*) является обечайка 15, согнутая из листового алюминиевого сплава толщиной 1,5 мм. Концы обечайки соединены встык Г-образной накладной 17 (из того же материала) и четырьмя

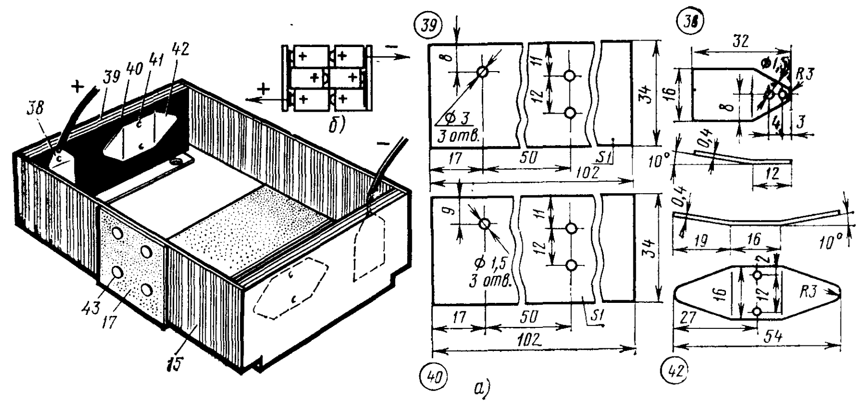


Рис. 6

алюминиевыми заклепками 43 (∅2×4 мм). Такие же заклепки использованы и для крепления обечайки к шасси основного блока. Для соединения элементов друг с другом, с разъемами $Ш_1$—$Ш_3$ и выключателем B_2 служат пружинящие контакты 38 и 42 (бронза, латунь толщиной 0,4—0,5 мм), закрепленные на пластинах 40 (текстолит, гетинакс толщиной 0,8—1 мм) медными заклепками 41 (∅1,5×2 мм). Головки заклепок изолированы от обечайки гетинаксовыми прокладками 39, в которых напротив заклепок просверлены отверстия диаметром 3 мм. Один из контактов 38 (положительный вывод батареи) соединен с выключателем B_2, другой (отрицательный) — с лепестками 7 ламповых панелей ($Ш_1$—$Ш_3$). Схема укладки элементов батареи в кассету показана на рис. 6, *б*.

Микроамперметр 10 (см. рис. 4) закреплен на откидной панели 18, изготовленной из того же материала, что и панель 3. Между корпусом прибора и панелью 18 проложена полистироловая прокладка 31. Винты крепления микроамперметра 9 (М3×28) ввинчены в резьбовые отверстия защитного кожуха 11, склеенного из листового полистирола. Поскольку общий размер микроамперметра, кожуха и прокладки больше высоты шасси 1, в его нижней части вырезано прямоугольное отверстие размерами 100×98 мм, а снизу винтами 2 (М3×8 с потайной головкой) привинчены полозья-ножки 24, изготовленные из листового полистирола толщиной 6 мм.

Откидная панель 18 поворачивается на винтах М2×6, которые ввинчены сквозь отверстия в боковых стенках шасси в латунные стержни 7, прикрепленные

к панели медными заклепками *36*. В поднятом положении панель удерживается подкосом *30*, опирающимся на дюралюминиевую бобышку *27*, закрепленную винтом *32* (М2×4 с потайной головкой) на левой стенке шасси *1*. Подкос *30* поворачивается на стальной оси *29* (штифт диаметром 1 мм), запрессованной в дюралюминиевый кронштейн *28*. Кронштейн закреплен на панели *18* двумя винтами М2×4 с уменьшенными до диаметра 3,5 мм потайными головками. При использовании микроамперметра, предназначенного для работы в горизонтальном положении, панели *3* и *18* целесообразно объединить в одно целое, исключив ненужные в этом случае детали *6—8*, *27—30* и *32*. Для дополнительного крепления такой панели можно использовать дюралюминиевый уголок 10×10×2 мм, приклепав его к задней стенке *14*.

В правой (см. рис. 4) части панели *18* приклеена табличка *19* перевода показаний микроамперметра в значения статического коэффициента передачи тока $k_{21Э}$ при измерении параметров транзисторов.

Сборку основного блока начинают с установки на шасси *1* кронштейнов *4*, *21*, *22*, задней стенки *14*, кассеты источника питания и бобышки *27*. После этого внешние поверхности шасси и задней стенки обклеивают декоративной пленкой ПДС-0,12, имитирующей древесину ценных пород. Далее на стенке *37* закрепляют ламповые панели *25*, а собранный узел привинчивают к кронштейнам *4*, *21* и *22*.

Следующим собирают узел откидной панели: приклепывают к ней стержни *7* (головки заклепок *36* спиливают заподлицо с панелью *18*), закрепляют микроамперметр, предварительно подсоединив к его зажимам отрезки (длиной 150—200 мм) многожильного монтажного провода разного цвета, привинчивают кронштейн *28* с подкосом *30*. После этого наружные поверхности панелей *3* и *18* обтягивают той же пленкой, что и шасси.

Движковый переключатель *23* (B_1) вставляют контактами в отверстия платы *33* и соединяют их с обратной стороны в соответствии со схемой, показанной на рис. 3, *б*. Для соединений используют многожильный монтажный провод сечением 0,14—0,35 мм². Закончив монтаж, плату крепят к кронштейнам *22*, но так, чтобы ручка переключателя свободно перемещалась в соответствующем отверстии на панели *3*. Кроме того, необходимо добиться четкой работы переключателя в обоих крайних положениях ручки. Собранную откидную панель и панель управления с выключателем *20* устанавливают на место после крепления на шасси полозьев-ножек.

Налаживание основного блока сводится к калибровке шкалы микроамперметра для измерения напряжения источника питания. Для этого временно заменяют резистор R_1 переменным (сопротивлением 150—200 кОм), устанавливают переключатели B_1 и B_2 в положения, показанные на схеме (см. рис. 2) и вставляют в кассету свежие элементы 373. Полностью введя сопротивление переменного резистора (его движок должен находиться у неиспользованного вывода), включают питание тумблером B_2 и, уменьшая сопротивление введенной части резистора, устанавливают стрелку микроамперметра на отметку 96 мкА (напряжение батареи из свежих элементов 9,5—9,6 В). Добившись этого, переменный резистор выпаивают и измеряют его сопротивление омметром. Резистор R_1 (его можно составить из нескольких последовательно или параллельно соединенных резисторов МЛТ-0,25, МЛТ-0,5 или ВС-0,125) должен иметь точно такое же сопротивление.

Кроме прибора М24 в комплексе можно применить и другие микроамперметры магнитоэлектрической системы: М93—М96, М265, М1690—М1692 (размеры шкалы у этих приборов примерно такие же, как и у М24), М494, М261М, М263М (размеры шкалы меньше), а также измерительные головки от авометров Ц-20, ТТ-1 и т. п. Класс точности приборов должен быть не хуже 1,5, ток полного отклонения — не более 300 мкА.

Если параметры прибора — ток полного отклонения $I_и$ и внутреннее сопротивление $R_и$ — неизвестны, их можно определить следующим образом. Прибор $ИП_x$ (рис. 7) включают в электрическую цепь, состоящую из об-

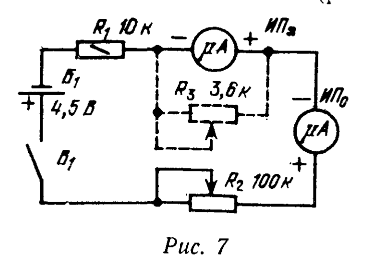


Рис. 7

разцового микроамперметра $ИП_0$ (в крайнем случае им может быть авометр, переключенный в режим измерения постоянного тока), батареи $Б_1$, переключателя $В_1$ и двух резисторов: постоянного (R_1), ограничивающего ток в цепи до 450 мкА, и переменного (R_2), с помощью которого ток в цепи можно регулировать примерно от 40 до 450 мкА.

Установив ток, при котором стрелка прибора $ИП_x$ отклоняется до последней отметки шкалы, отсчитывают ток $I_и$ по шкале образцового прибора $ИП_0$. Затем параллельно прибору $ИП_x$ подключают переменный (желательно проволочный) резистор R_3 сопротивлением 3—5 кОм. Изменяя сопротивления переменных резисторов R_2 и R_3, добиваются того, чтобы при том же, что и прежде, токе в цепи стрелка прибора $ИП_x$ установилась на среднюю отметку его шкалы. Сопротивление введенной части резистора R_3 (его измеряют омметром) равно внутреннему сопротивлению $R_и$ прибора $ИП_x$.

МИЛЛИАМПЕРМЕТР ПОСТОЯННОГО ТОКА

Миллиамперметр (рис. 8) — один из простейших и в то же время самых необходимых в радиолюбительской практике приборов, поэтому именно с него мы и рекомендуем начать изготовление сменных блоков комплекса. По существу, этот прибор представляет собой смонтированный в отдельном корпусе универсальный шунт, подключаемый параллельно микроамперметру основного блока. Миллиамперметром можно измерить постоянный ток до 500 мА. Для облегчения отсчета значений тока по шкале микроамперметра с отметками от 0 до 100 пределы измерений выбраны кратными числам 1, 2 и 5: 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 и 500 мА. При тщательном подборе резисторов универсального шунта погрешность миллиамперметра не превышает 5%, что вполне достаточно для любительских измерений.



Рис. 8

Принципиальная схема миллиамперметра показана на рис. 9. Здесь штриховыми линиями изображен макроамперметр $ИП_1$ основного блока, универсальный шунт составлен из резисторов R_1—R_8. Сопротивления резисторов рассчитаны так, чтобы при подключении к микроамперметру с током полного отклонения 100 мкА и внутренним сопротивлением 662 Ом получить указанные выше пределы измерений.

При использовании микроамперметра с другими параметрами — током полного отклонения $I_и$ и внутренним сопротивлением $R_и$ — сопротивления резисторов универсального шунта рассчитывают следующим образом. Полное сопротивление шунта $R_ш$

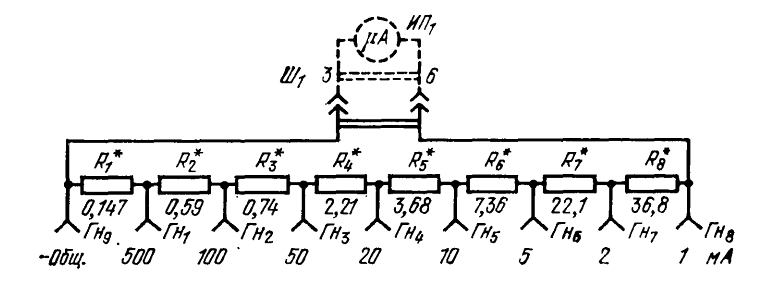


Рис. 9

определяют по формуле $R_ш = R_и/(I_8/I_и - 1)$, где I_8 — предельный ток минимального предела измерений (в нашем случае 1 мА). Сопротивления резисторов шунта рассчитывают начиная с наименьшего, т. е. с R_1:

$$R_1 = U_{ма}/I_1,\ R_2 = U_{ма}/I_2 - R_1,$$
$$R_3 = U_{ма}/I_3 - (R_1 + R_2),\ R_4 = U_{ма}/I_4 - (R_1 + R_2 + R_3),$$
$$\ldots,\ R_8 = U_{ма}/I_8 - (R_1 + R_2 + \ldots + R_7).$$

В этих формулах R_1—R_8 — сопротивления резисторов универсального шунта; I_1—I_8 — предельные токи измерений; напряжение $U_{ма} = I_и(R_ш + R_и)$.

В зависимости от измеряемого тока соединительные провода со штепселями или зажимами на концах вставляют в гнездо $Гн_9$ (*Общ*) и одно из гнезд $Гн_1$—$Гн_8$. С основным блоком комплекса приставка-шунт соединяется с помощью разъема $Ш_1$, штепсельной частью которого является цоколь от радиолампы октальной серии.

Конструкция и детали. Прибор смонтирован в корпусе (рис. 10), состоящем из П-образных основания *3* (его разметка показана на рис. 11) и крышки *10*, изготовленных из листового алюминиевого сплава АМц-П толщиной 1 мм. Друг с другом они соединены четырьмя винтами *2* (М2×4 с потайной головкой), ввинчиваемыми в резьбовые отверстия в планках *12* (дюралюминий Д16-Т), приклепанных алюминиевыми заклепками *13* (диаметром 2 мм и длиной 4 мм) к полкам основания *3*. Такими же винтами на основании закреплены две стойки *8* (органическое стекло), предназначенные для крепления (винтами *11* — М2×5 с полукруглой головкой) монтажной платы *9*.

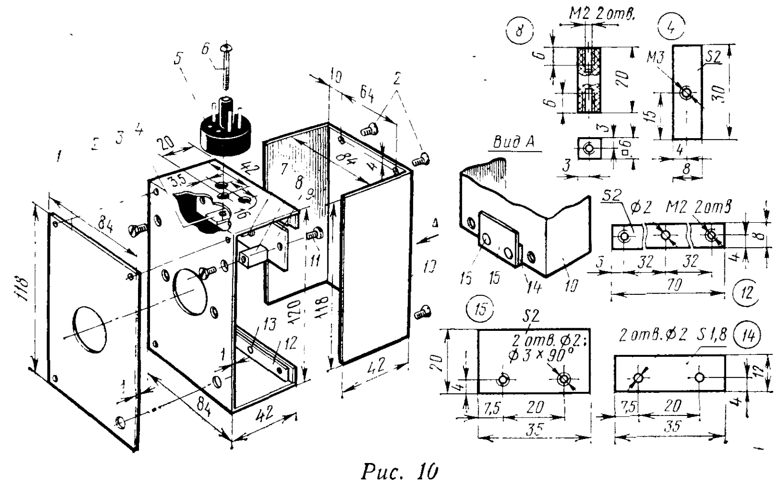


Рис. 10

Октальный цоколь *5* закреплен на боковой стенке основания *3* винтом *6* (М3×25 с полукруглой головкой), ввинченным в резьбовое отверстие планки *4* (дюралюминий Д16-Т). Пластмассовый корпус цоколя уменьшен по высоте до 5 мм, его ножки *1*, *4*, *5* и *8* удалены (это уменьшает усилие, необходимое для стыковки и расстыковки приставки с основным блоком). Для предотвращения поломки ключа цоколя и фиксации приставки в рабочем положении служит ограничитель, состоящий из планок *14* и *15* (Д16-Т), приклепанных алюминиевыми заклепками *16* (диаметром 2 мм и длиной 6 мм) к крышке *10*. При установке приставки в основной блок кромка его шасси входит в зазор, образованный планкой *15* и крышкой *10*, фиксируя положение приставки.

В качестве гнезд $Гн_1$—$Гн_8$ использована октальная ламповая панель ПЛ-2к. На основании *3* она закреплена входящей в комплект панели скобой и винтами М2,5×8 с гайками. Гнездо $Гн_9$ — приборное, под штепсель диаметром 4 мм. От основания оно изолировано пластмассовыми прокладками.

Надписи, поясняющие назначение приставки и гнезд $Гн_1$—$Гн_9$, нанесены черной тушью на полоски плотной цветной бумаги, склеенные встык, и защищены от повреждений накладкой *1* из прозрачного органического стекла толщиной 2 мм. Накладка закреплена гайкой гнезда $Гн_9$ и тремя винтами *7* (М2×3 с полукруглой головкой), ввинченными с внутренней стороны основания в резьбовые отверстия в накладке.

Корпус приставки отделан такой же декоративной пленкой, что и шасси основного блока. Ею обклеены наружные поверхности (кроме кромок) основания и крышки. Резисторы универсального шунта смонтированы на плате размерами 80×40 мм из текстолита (можно гетинакса) толщиной 1,5 мм. Опорами для монтажа служат стойки из луженого медного провода диаметром 1,5 мм, запрессованные в отверстия в плате.

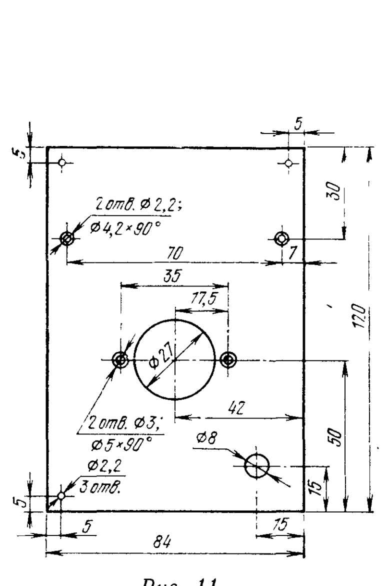


Рис. 11

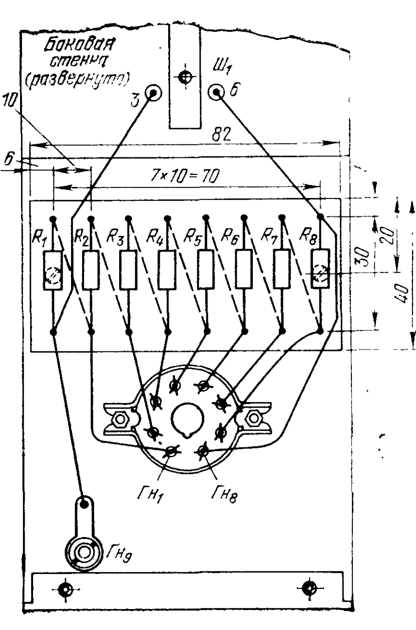


Рис. 12

Схема соединений показана на рис. 12. Соединения на самой плате (изображены штриховыми линиями) выполнены одножильным луженым проводом диаметром 0,5 мм, а с гнездами $Гн_1$—$Гн_9$ и разъемом $Ш_1$ — гибким монтажным проводом марки МГШВ сечением 0,14 мм². Номера гнезд $Гн_1$—$Гн_8$ соответствуют номерам контактов ламповой панели. Для соединения с исследуемой цепью применен провод МГШВ сечением 0,5 мм². Штепсели и щупы могут быть любой конструкции, важно лишь, чтобы один из штепселей (для гнезд $Гн_1$—$Гн_8$) имел диаметр 2 мм, а другой (для гнезд $Гн_9$) — 4 мм.

Резисторы R_1—R_6 проволочные. Их можно изготовить как из провода с высоким удельным сопротивлением, так и из обычного обмоточного провода марки ПЭЛ, ПЭВ-1 или ПЭВ-2, намотав его на корпуса резисторов МЛТ-0,5 или МЛТ-1 сопротивлением не менее 10 кОм. Следует, однако, учесть, что применять для резисторов универсального шунта медный провод можно только в крайнем случае, если нет провода из материала с высоким удельным сопротивлением. Дело в том, что температурный коэффициент сопротивления меди (отношение абсолютного значения приращения сопротивления при изменении температуры на 1°С к сопротивлению до ее изменения) в десятки и сотни раз больше, чем у материалов с высоким удельным сопротивлением. Поэтому при нагревании медного провода (а это неизбежно при протекании через него измеряемого тока) сопротивления резисторов будут несколько увеличиваться, что

приведет к увеличению погрешности измерений. Лучше всего использовать для резисторов шунта константан или манганин диаметром 0,15—0,8 мм (более толстый провод для резисторов малых сопротивлений). Длины отрезков провода из этих материалов можно рассчитать, руководствуясь даными табл. 1. При использовании медного провода резистор R_1 изготовляют из провода диаметром 0,15 мм (расчетная длина отрезка от пайки до пайки 148,5 мм), R_2 и R_3 — 0,1 мм (264 и 330 мм), R_4, R_5 и R_6 — 0,06 мм (345, 573 и 1142). Для облегчения налаживания миллиамперметра длину отрезков провода (от пайки до пайки) рекомендуется увеличить на 2—3% по сравнению с расчетной. Резисторы R_7 и R_8 могут быть любыми малогабаритными, причем первый из них можно составить из двух параллельно соединенных резисторов сопротивлением 43 и 47 Ом.

Таблица 1

Диаметр провода без изоляции, мм	Сопротивление 1 м провода, Ом			
	медь	манганин	константан	нихром
0,05	9,29	220	250	550
0,06	6,44	—	—	—
0,07	4,73	112	124	280
0,08	3,63	85,4	97,4	208
0,09	2,86	—	—	—
0,1	2,23	54,8	62,4	138
0,12	1,55	—	—	—
0,15	0,99	24,3	27,7	61,2
0,2	0,558	13,7	15,6	34,4
0,3 (0,31)*	(0,233)*	6,06	6,93	15,3
0,35	0,182	4,47	5,09	11,3
0,4 (0,41)*	(0,133)*	3,42	3,89	8,64
0,45 (0,44)*	(0,115)*	2,71	3,08	6,78
0,5 (0,51)*	(0,0859)*	2,2	2,5	5,51

* В скобках указаны стандартные диаметры и сопротивления медных проводов.

Налаживание миллиамперметра сводится к калибровке шкалы микроамперметра на всех пределах измерений. Для этого потребуется образцовый миллиамперметр класса 0,2 или 0,5 (в крайнем случае можно использовать фабричный авометр, переключенный в режим измерения постоянного тока) и два переменных (желательно проволочных) резистора сопротивлением 100—150 Ом и 10—15 кОм.

Схема измерительной цепи для калибровки миллиамперметра показана на рис. 13. Здесь *ИП* и $ИП_0$ — соответственно налаживаемый и образцовый миллиамперметры, R_1 и R_2 — переменные резисторы, $Б_1$ и $В_1$ — батарея и выключатель питания основного блока. Для соединения измерительной цепи с батареей понадобится еще один октальный цоколь от радиолампы. Его вставляют в гнездовую часть разъема $Ш_2$ или $Ш_3$. Приставку-шунт соединяют с основным блоком переходным двухпроводным кабелем, оканчивающимся с одной стороны октальным цоколем (его вставляют в гнездовую часть разъема $Ш_1$), а с другой — такой же ламповой панелью (в нее вставляют цоколь, закрепленный на корпусе приставки). Кабель можно изготовить из многожильного монтажного провода сечением 0,5—0,75 мм².

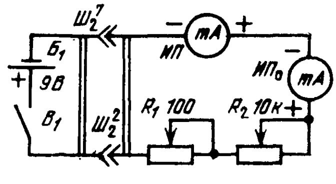


Рис. 13

Калибровку начинают с предела 500 мА. Установив переключатель B_1 основного блока в положение *1*, движок переменного резистора R_1 в крайнее правое (по схеме) положение, а резистора R_2 в левое и вставив штепсели соединительных проводов в гнезда $Гн_1$ и $Гн_9$, замыкают цепь выключателем B_1. Плавно изменяя сопротивление резистора R_1, устанавливают по шкале образцового прибора $ИП_0$ ток 500 мА и сравнивают его с показанием калибруемого миллиамперметра *ИП* (т. е. микроамперметра в основном блоке). Если его стрелка не доходит до конечной (*100*) отметки шкалы, то это означает, что сопротивление шунта R_1 мало и его необходимо увеличить, если же стрелка уходит за пределы шкалы, уменьшить.

Поскольку сопротивления проволочных резисторов R_1—R_6 при изготовлении были выбраны несколько большими, чем расчетные, при калибровке их необходимо уменьшать. Это можно сделать отматыванием провода, но более удобно шунтировать их резисторами, сопротивление которых в десятки раз больше. Например, если сопротивление резистора R_1 оказалось равным 0,15 Ом, то, чтобы уменьшить его до расчетного значения (0,147 Ом), необходимо параллельно подключить резистор сопротивлением 7,7 Ом (три параллельно соединенных резистора сопротивлением 24 Ом). При калибровке (как, впрочем, и при эксплуатации) налаживаемый и образцовый приборы должны находиться в рабочем положении, обозначенном на их шкалах.

Добившись установки стрелки калибруемого прибора на конечную отметку шкалы, переставляют штепсель соединительного проводника в гнездо $Гн_2$ и точно так же, но теперь уже уменьшая сопротивление резистора R_2, калибруют миллиамперметр на пределе 100 мА, а затем (подбором сопротивлений резисторов R_3, R_4 и т. д.) и на остальных пределах измерений. Начиная с предела 20 мА ток в цепи регулируют переменным резистором R_2.

На пределах 2 и 1 мА прибор калибруют подбором соответственно резисторов R_7 и R_8. Первый из них подбирают (поочередной подпайкой к соответствующим стойкам монтажной платы) из резисторов номинальным сопротивлением 22 Ом, второй — из резисторов сопротивлением 36 Ом. Припаивать и выпаивать резисторы шунта необходимо при разомкнутой (выключателем B_1) цепи, иначе микроамперметр основного блока будет неминуемо поврежден.

ВОЛЬТМЕТР ПОСТОЯННОГО ТОКА

Этот прибор комплекса (рис. 14) также относится к числу простейших. Он предназначен для измерения постоянного напряжения до 500 В и имеет восемь пределов измерений с той же кратностью, что и миллиамперметр: 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 и 500 В. Относительное входное сопротивление (ОВС) вольтметра 10 кОм/В. Это один из важнейших параметров вольтметра магнитоэлектрической системы, поэтому прежде чем перейти к описанию схемы и конструкции прибора, посмотрим, от чего зависит ОВС и как его рассчитать при использовании микроамперметра с другими, чем в описываемом комплексе, током полного отклонения и внутренним сопротивлением.



Рис. 14

Простейший однопредельный вольтметр магнитоэлектрической системы состоит, как известно, из стрелочного измерителя (микроамперметра) и соединенного с ним последовательно добавочного резистора $R_д$. При подключении такого вольтметра параллельно проверяемому участку цепи сопротивление этого участка, и сооответственно, падение напряжения на нем уменьшаются. Иначе говоря, вольтметр влияет на контролируемую цепь тем сильнее, чем меньше его входное сопротивление. Входное сопротивление $R_{вх}$ на пределе $U_п$ равно сумме сопротивлений добавочного резистора $R_д$ и внутреннего сопротивления $R_и$ микроамперметра с током полного отклонения $I_и$: $R_{вх}=R_д+R_и=U_п/I_и$. Очевидно, что если вольтметр многопредельный, то его вход-

ное сопротивление на разных пределах также будет разным. Поэтому для удобства сравнения многопредельных вольтметров по влиянию на режим контролируемой цепи пользуются не входным сопротивлением, а ОВС, которое численно равно сопротивлению, приходящемуся на 1 В предельного напряжения: $R_{вх.отн} = R_{вх}/U_п = (U_п/I_и)/U_п = 1/I_и$.

Таким образом, чтобы определить ОВС вольтметра магнитоэлектрической системы, достаточно найти величину, обратную току полного отклонения примененного в нем микроамперметра. Например, если применить прибор с током полного отклонения $I_и = 200$ мкА ($0{,}2 \cdot 10^{-3}$ А), то ОВС вольтметра будет равно $R_{вх.отн} = 1/(0{,}2 \cdot 10^{-3}) = 5$ кОм/В.

Принципиальная схема вольтметра, входящего в комплекс, показана на рис. 15. Здесь $ИП_1$, как и на схеме миллиамперметра, микроамперметр основно-

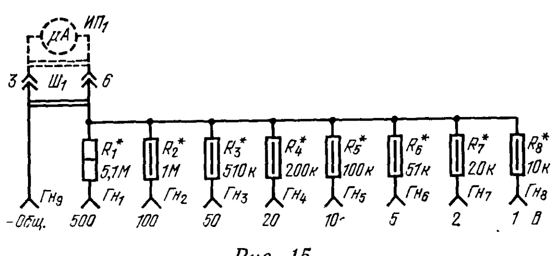


Рис. 15

го блока, резисторы R_1—R_8 добавочные, их сопротивления рассчитаны так, чтобы при использовании микроамперметра с внутренним сопротивлением 662 Ом получить перечисленные выше пределы измерений. Если у прибора иные, чем у примененного в комплексе микроамперметра, внутреннее сопротивление $R_и$ и ток полного отклонения $I_и$, сопротивления добавочных резисторов рассчитывают по формуле $R_д = U_п/I_и - R_и$, где $R_д$ — сопротивление резисторов R_1, R_2 и т. д., а $U_п$ — соответствующие им предельные напряжения 500, 100 В и т. д. Так, при использовании микроамперметра с током полного отклонения 200 мкА ($0{,}2 \cdot 10^{-3}$ А) и внутренним сопротивлением 1 кОм сопротивление R_1 для предела измерений 500 В должно быть равно $R_1 = 500/(0{,}2 \cdot 10^{-3}) - 1000 = 2499$ кОм $\approx$ $\approx 2{,}5$ МОм, резистора R_2 для предела 100 В $R_2 = 100/(0{,}2 \cdot 10^{-3}) - 1000 =$ $= 499$ кОм ≈ 500 кОм и т. д.

В зависимости от значения измеряемого напряжения соединительные провода со штепселями на концах вставляют в гнездо $Гн_9$ (*Общ.*) и в одно из гнезд $Гн_1$—$Гн_8$. Разъем $Ш_1$, как и в миллиамперметре, предназначен для соединения прибора с микроамперметром основного блока.

Конструкция и детали. Конструктивно вольтметр, представляющий собой, по существу, набор добавочных резисторов, выполнен точно так же, как и миллиамперметр. Схема соединений вольтметра показана на рис. 16.

В качестве добавочных, кроме R_1, применены резисторы МЛТ-0,5, но можно использовать и любые другие резисторы этого типа или ВС с рассеиваемой мощностью от 0,125 до 1 Вт и допустимым отклонением сопротивления от номинала ±10% (это облегчает подбор резисторов). Резистор R_1 — МЛТ-1 или ВС-0,5. Для облегчения налаживания вольтметра каждый добавочный резистор рекомендуется составить из последовательно соединенных двух: основного (примерно 90% расчетного сопротивления) и дополнительного (10% сопротивления), который подбирают при калибровке. Например, резистор R_1 (расчетное сопротивление равно примерно 5 МОм) можно составить из резисторов сопротивлением 4,3 МОм (основной) и 680 или 750 кОм (подбираемый); резистор R_2 — из резисторов сопротивлением 910 и 91 кОм; R_3 — 470 и 36 кОм и т. д.

Как и в миллиамперметре, в качестве гнезд $Гн_1$—$Гн_8$ использованы октальная ламповая панель ПЛ-2к, гнездо $Гн_9$ приборное, под штепсель диаметром 4 мм. От основания корпуса оно изолировано пластмассовыми шайбами. Для соединения с исследуемой цепью используются те же провода со штепселями и щупами, что и при работе с миллиамперметром.

Налаживание вольтметра сводится к калибровке шкалы микроамперметра на всех пределах измерений. Принципиальная схема измерительной цепи для калибровки пределов 1, 2 и 5 В показана на рис. 17. Здесь *ИП* — вольтметр комплекса, *ИП*$_0$ — образцовый вольтметр класса 0,2 или 0,5 (в крайнем случае авометр в режиме измерения постоянных напряжений), R_1 — переменный резистор сопротивлением 1,5—3 кОм, B_1 и $Б_1$ — соответственно выключатель и батарея питания основного блока. Для подключения к батарее используйте октальный цоколь радиолампы, вставив его в гнездовую часть разъема $Ш_2$ или $Ш_3$ основного блока. Вольтметр-приставку соедините с разъемом $Ш_1$ через удлинитель, изготовленный при налаживании миллиамперметра.

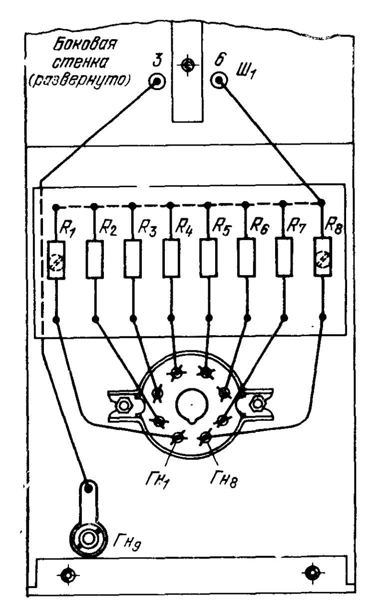


Рис. 16

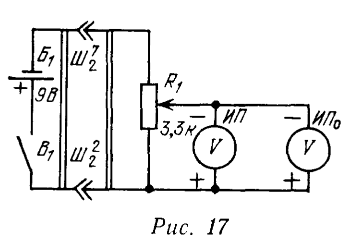


Рис. 17

Калибровку начинают с предела 1 В. Для этого вставляют штепсели соединительных проводов калибруемого прибора в гнезда $Гн_8$ и $Гн_9$, устанавливают движок переменного резистора R_1 в нижнее (по схеме) положение и включают питание. Медленно перемещая движок резистора вверх, устанавливают по образцовому прибору *ИП*$_0$ напряжение 1 В и сравнивают его с показанием калибруемого вольтметра. Если стрелка микроамперметра основного блока не дошла до конечной отметки шкалы, значит сопротивление добавочного резистора R_8 велико и его необходимо уменьшить, если же стрелка ушла за пределы шкалы, увеличить. В любом из этих случаев подбирают добавочный резистор так, чтобы стрелка микроамперметра установилась точно на конечную отметку его шкалы.

Аналогично калибруют вольтметр и на остальных пределах измерений, однако начиная с 10 В батарею $Б_1$ заменяют выпрямителем лампового приемника, а резистор R_1 — переменным резистором сопротивлением 220—300 кОм. Поскольку напряжение на выходе такого выпрямителя обычно не превышает 250—300 В, вольтметр на пределе 500 В калибруют не по конечной отметке, а по какой-либо промежуточной, но ближайшей к той, которая соответствует напряжению выпрямителя. Например, если это напряжение равно 253 В, то прибор калибруют по отметке 250 В (по шкале микроамперметра основного блока отметка 50).

При работе с источником высокого напряжения необходимо соблюдать осторожность: ни в коем случае не касаться руками неизолированных проводников, находящихся под напряжением, паять резисторы и соединительные провода только при выключенном выпрямителе, причем, если выключение производится не тумблером в измерительной цепи, а выключателем приемника, не раньше чем через 1—2 мин после выключения.

ИСПЫТАТЕЛЬ ТРАНЗИСТОРОВ

К числу приборов первой необходимости относится и испытатель транзисторов (рис. 18), без которого не обойтись радиолюбителю, конструирующему устройства на полупроводниковых приборах. Значительный разброс параметров

транзисторов обусловливает необходимость проверки транзисторов до установки в конструируемое устройство. К тому же радиолюбителю нередко приходится иметь дело с некондиционными транзисторами, в этом случае проверка их параметров становится обязательной. Практика показывает, что знание параметров транзисторов намного облегчает налаживание и регулировку любительских конструкций.

В большинстве случаев для оценки качества транзистора достаточно измерить один из его коэффициентов передачи тока и обратный ток коллекторного перехода $I_{КБО}$. Транзисторы с большим $I_{КБО}$ и особенно те, у которых велики $I_{КБО}$ и коэффициент передачи тока, использовать нельзя, поскольку каскады, собранные на таких транзисторах, будут иметь недопустимо низкую температурную стабильность. Обратный ток коллекторного перехода транзисторов структуры *p-n-p* измеряют по схеме, показанной на рис. 19,*а*.



Рис. 18

Знание коэффициента передачи тока позволяет судить об усилительных свойствах транзистора. Обычно измеряют коэффициент передачи тока, включая транзистор по схеме с общим эмиттером: $h_{21Э}=\Delta I_К/\Delta I_Б$ ($\Delta I_К$ — изменение коллекторного тока, соответствующее вызвавшему его изменению тока базы $\Delta I_Б$), или, что существенно проще, статический коэффициент передачи тока $h_{21Э}=(I_К-I_{КБО})/(I_Б+I_{КБО})$, где $I_К$ — коллекторный ток, соответствующий току базы $I_Б$. Поскольку у современных транзисторов ток $I_{КБО}$ значительно меньше тока $I_Б$, а последний намного меньше тока $I_К$ то выражение для расчета $h_{21Э}$ можно упростить: $h_{21Э}\approx I_К/I_Б$. Именно это соотношение и лежит в основе измерения статического коэффициента передачи тока (рис. 19,*б*) почти всех простых испытателей транзисторов, описанных в радиолюбительской литературе. Резистор *R*, сопротивление которого выбирают существенно бо́льшим сопротивления эмиттерного перехода, стабилизирует ток базы ($I_Б=U_{пит}/R$). Поскольку ток коллектора пропорционален коэффициенту $h_{21Э}$, то шкалу прибора *ИП* в цепи коллектора проверяемого транзистора можно отградуировать непосредственно в единицах коэффициента $h_{21Э}=I_КR/U_{пит}$.

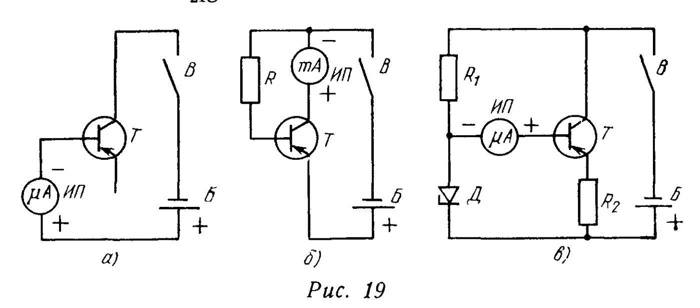


Рис. 19

Однако испытатели транзисторов, построенные по такой схеме, имеют существенный недостаток. Дело в том, что коэффициент передачи тока $h_{21э}$ (а следовательно, и $h_{21Э}$) в значительной мере зависит от режима работы транзистора, и в первую очередь от тока эмиттера $I_Э$. Вот почему в справочниках всегда приводятся не только значения коэффициента передачи тока $h_{21Э}$, но и условия, в которых он измерен (ток эмиттера и напряжение между коллектором и эмиттером $U_{КЭ}$).

Коэффициент передачи тока $h_{21Э}$ транзисторов малой мощности обычно измеряют при токах эмиттера, равных 0,5 мА (низкочастотные малошумящие транзисторы), 1 мА (остальные низкочастотные), 5 мА (высокочастотные) или 10 мА (транзисторы, предназначенные для работы в импульсном режиме). Напряжение между коллектором и эмиттером при измерении этого параметра обычно равно 5 В. Заметим, что параметр $h_{21Э}$ мало зависит от $U_{КЭ}$, и поэтому у транзисторов малой мощности (кроме высокочастотных) его можно измерять при одном и том же напряжении между коллектором и эмиттером.

В испытателях, построенных на измерении статического коэффициента передачи тока, коллекторные (а следовательно, и эмиттерные) токи проверяемых транзисторов даже одного типа практически всегда разные. А это значит, что сопоставить результаты измерений со справочными, измеренными при определенном токе эмиттера, просто невозможно.

В более совершенных приборах, в которых можно установить любой необходимый ток коллектора, коэффициент $h_{21Э}$ определяют по показаниям стрелочного измерителя, включенного в цепь базы проверяемого транзистора. Однако такие испытатели транзисторов неудобны в работе, так как требуют при каждом измерении устанавливать ток коллектора, что практически исключает непосредственный отсчет коэффициента передачи тока по шкале прибора.

От этих недостатков свободен испытатель транзисторов, входящий в измерительный комплекс. Он рассчитан на измерение статического коэффициента передачи тока $h_{21Э}$ при стабилизированных токах эмиттера. Это позволяет оценить усилительные свойства транзистора в режиме, близком к рабочему (т. е. при токе через транзистор в реальном устройстве).

Упрощенная схема измерения коэффициента $h_{21Э}$ показана на рис. 19, *в*. Как видно из схемы, проверяемый транзистор вместе с элементами испытателя образует стабилизатор тока. Напряжение на базу транзистора подается со стабилитрона *Д*, а в его эмиттерной (коллекторной) цепи течет ток, практически не зависящий от изменения напряжения источника питания. Этот ток легко рассчитать по формуле $I_Э = (U_С - U_{ЭБ})/R_2$, где $I_Э$ — ток эмиттера, А; $U_С$ — напряжение на стабилитроне, В; $U_{ЭБ}$ — падение напряжения на эмиттерном переходе транзистора, В; R_2 — сопротивление резистора в эмиттерной цепи, Ом.

Поскольку на практике приходится иметь дело как с германиевыми ($U_{ЭБ} = 0{,}2$—$0{,}3$ В), так и с кремниевыми ($U_{ЭБ} = 0{,}6$—$0{,}7$ В) транзисторами, то при расчете по приведенной формуле сопротивлений резисторов, определяющих выбранные значения эмиттерного тока, можно взять среднее значение падения напряжения на эмиттерном переходе, равное 0,4 В. В этом случае отклонение эмиттерного тока при испытании любых маломощных транзисторов (и выбранном напряжении на стабилитроне $U_С$) не превышает $\pm 10\%$ от номинального. При заданном токе эмиттера ток базы транзистора обратно пропорционален коэффициенту $h_{21Э}$ (чем он больше, тем меньше ток базы, и наоборот), поэтому шкалу прибора можно отградуировать в значениях $h_{21Э}$.

Описываемый здесь испытатель транзисторов предназначен для измерения обратного тока коллектора $I_{КБО}$ до 100 мкА (определяется чувствительностью микроамперметра основного блока), а коэффициента $h_{21Э}$ от 10 до 100 при $I_Э = 1$ мА и от 20 до 200 при токах, равных 2,5 и 10 мА.

Принципиальная схема испытателя транзисторов показана на рис. 20. Проверяемый транзистор подключается к гнездовой колодке $Ш_1$. Эмиттерный ток, при котором необходимо измерить $h_{21Э}$, выбирают переключателем $В_3$, включающим в эмиттерную цепь транзистора один из резисторов R_5—R_8. Для сохранения указанных пределов измерений коэффициента $h_{21Э}$ (20—200) при токах эмиттера 5 и 10 мА в третьем и четвертом положениях переключателя $В_3$ параллельно микроамперметру комплекса (контакты *3* и *6* разъема $Ш_2$) подключаются соответственно резисторы R_3 и R_2, в результате чего ток его полного отклонения увеличивается до 250 и 500 мкА.

Переключение испытателя с измерения коэффициента $h_{21Э}$ на измерение тока $I_{КБО}$ производят переключателем $В_2$. Первый из этих параметров измеря-

ется при напряжении на коллекторе (относительно эмиттера) примерно 4,7 В, второй — при таком же напряжении, снимаемом со стабилитрона $Д_1$.

Переключателем $В_1$ изменяют полярность включения батареи питания (контакты *2* и *7* разъема $Ш_2$), микроамперметра и стабилитрона $Д_1$ при испытании транзисторов разной структуры (*p-n-p* и *n-p-n*). Резистор R_4, включаемый в цепь коллекторного перехода при измерении тока $I_{КБО}$, ограничивает ток через микроамперметр в случае, если переход окажется пробитым. Параметры измеряют при нажатой кнопке $Кн_1$.

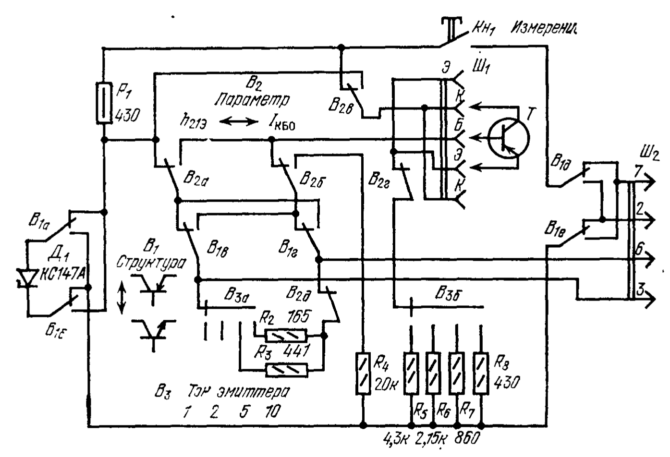


Рис. 20

Конструкция и детали. Испытатель смонтирован в таком же корпусе, что и описанные в предыдущих главах сменные блоки. Разметка его передней панели показана на рис. 21, а монтажной платы (стеклотекстолит толщиной 1,5 мм) — на рис. 22. На плате смонтированы все детали, кроме разъемов $Ш_1$ и $Ш_2$. Схема соединений показана на рис. 23. Резисторы R_5—R_8 — МЛТ-0,25 с допустимым отклонением от номинала $\pm 10\%$. Резистор R_6 составлен из резисторов сопротивлением 2 кОм и 150 Ом, R_7 — из двух резисторов по 430 Ом.

Переключатели $В_1$—$В_3$ движковые, от транзисторного приемника «Сокол». Два из них ($В_1$ и $В_2$) использованы без переделки, третий ($В_3$) переделан в двухполюсный на четыре положения. С этой целью удалены крайние неподвижные контакты (по одному в каждом ряду), а подвижные переставлены так, чтобы обеспечивалась схема коммутации, показанная на рис. 24.

Выводы переключателей и кнопки $Кн_1$ (малогабаритная типа КМ1-I) вставлены в отверстия платы с обратной (по рис. 23) стороны и удерживаются на ней припаянными к контактам соединительными проводами (медный луженый диаметром 0,5 мм). В местах пересечений на провода надеты изоляционные трубы из поливинилхлорида. Соединения с разъемами $Ш_1$ и $Ш_2$ выполнены гибким монтажным проводом МГШВ сечением 0,14 мм².

Все переключатели снабжены указателями положений, представляющими собой полоски плотной бумаги с отверстиями размерами 5×10 мм и соответствующими надписями (рис. 25). Каждый указатель помещен между двумя прозрачными (целлулоид или астролон толщиной 0,4 мм) пластинами таких же размеров и надет вместе с ними на движок переключателя. Для наблюдения надписей в передней стенке выпилены окна прямоугольной формы.

Устройство гнездовой колодки $Ш_1$ показано на рис. 26. Ее корпус состоит из деталей *1* и *3*, изготовленных из органического стекла и склеенных дихлорэтановым клеем. Контакты *2* использованы готовые, от панелей под транзисторы приемника «Селга». При необходимости их можно изготовить из листовой бронзы или латуни толщиной 0,3—0,4 мм. Чтобы к испытателю можно было подключать транзисторы с разным расположением выводов и выводами раз-

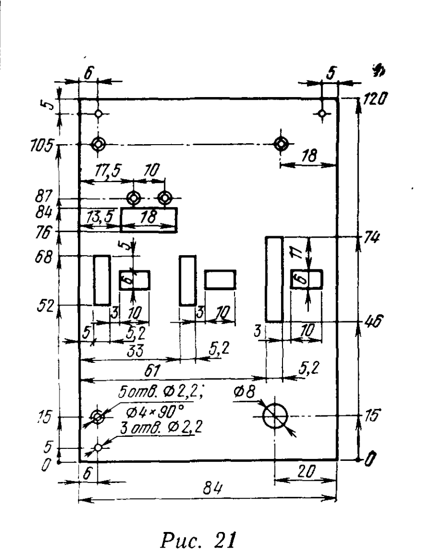


Рис. 21

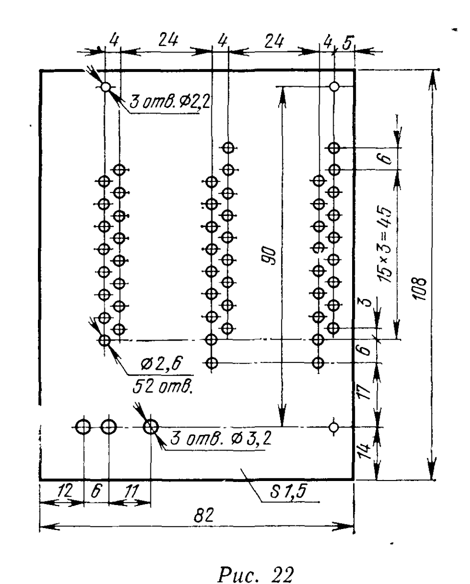


Рис. 22

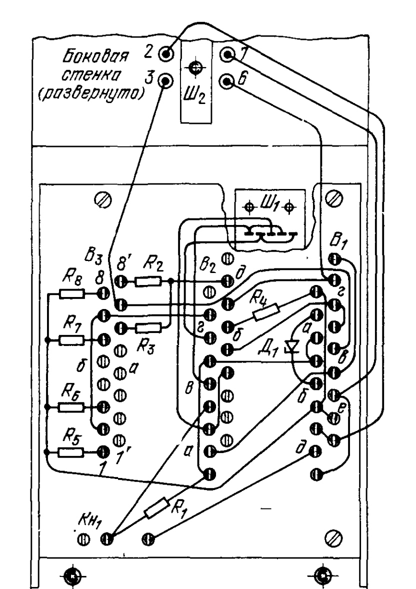


Рис. 23

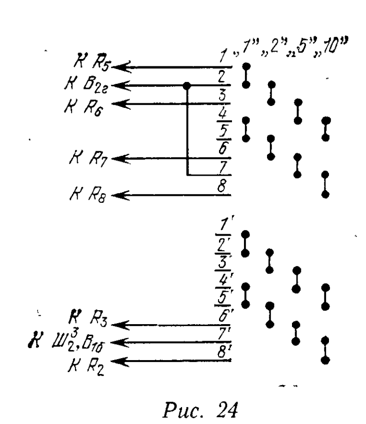


Рис. 24

личной конструкции (проволочными, ленточными), число контактов выбрано равным пяти, а расстояние между ними — 2,5 мм. К основанию корпуса прибора колодку крепят двумя винтами М2×6 с потайной головкой. В качестве штепсельной части разъема $Ш_2$, как и в ранее описанных приборах, применен пластмассовый цоколь от радиолампы октальной серии.

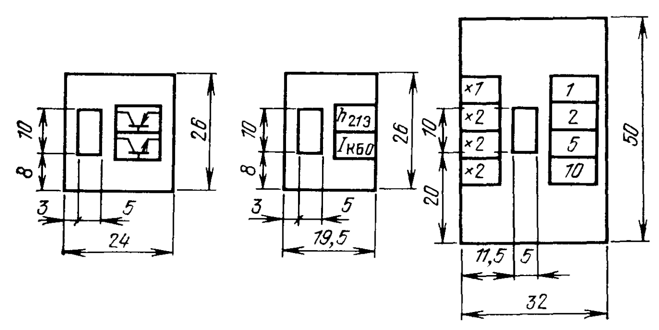


Рис. 25

Монтажная плата закреплена в корпусе тремя винтами М2×5, ввинченными в резьбовые стойки высотой 20 мм (органическое стекло), и гайками кнопки $Кн_1$. Для крепления стоек к передней стенке корпуса использованы винты М2×5 с потайной головкой.

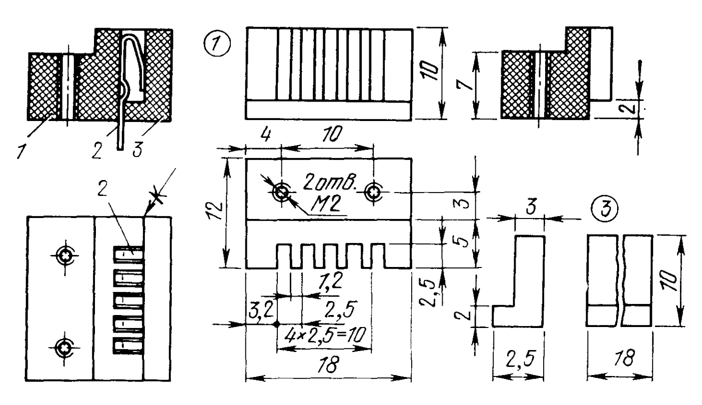


Рис. 26

Налаживание испытателя транзисторов сводится в основном к подбору резисторов R_3 и R_2. Первый из них подбирают так, чтобы при подключении его параллельно микроамперметру основного блока верхний предел измерения тока стал равным 250 мкА, а второй — так, чтобы этот предел увеличился до 500 мкА. Подобранные таким образом резисторы устанавливают на месте.

Шкалу (вернее, таблицу) для измерения коэффициента $h_{21Э}$ рассчитывают по формуле $h_{21Э}=I_Э/I_Б$ ($I_Э$ — ток эмиттера, соответствующий выбранному режиму измерений; $I_Б$ — ток базы, отсчитанный по шкале микроамперметра; оба тока в миллиамперметрах). Коэффициент передачи тока, рассчитанный для тока эмиттера 1 мА, приведен в табл. 2.

Таблицу вычерчивают тушью на плотной бумаге и приклеивают к откидной панели основного блока. Пользуясь таблицей, следует помнить, что при токах эмиттера 2, 5 и 10 мА значения $h_{21Э}$, найденные по таблице, необходимо умножать на 2.

Таблица 2

Ток базы, мкА	Статический коэффициент передачи тока	Ток базы, мкА	Статический коэффициент передачи тока
100	10	22,5	44,5
80	12,5	20	50
70	14	17,5	55
60	17	15	67
50	20	12,5	80
40	25	10	100
30	33	7,5	130
25	40	5	200

Проверку транзистора начинают с измерения обратного тока коллекторного перехода $I_{КБО}$. Установив переключатель B_1 в положение, соответствующее структуре транзистора (*p-n-p* или *n-p-n*), B_2 в положение «$I_{КБО}$», а B_3 в положение *1* или *2*, нажимают кнопку $Кн_1$ и отсчитывают ток по шкале микроамперметра. Затем переключатель B_2 переводят в положение «$h_{21Э}$» и, выбрав переключателем B_3 ток эмиттера, при котором надо измерить этот параметр транзистора, вновь нажимают кнопку. Отсчитав число делений по шкале микроамперметра, определяют по таблице соответствующее ему значение $h_{21Э}$.

ТРАНЗИСТОРНЫЙ ВОЛЬТМЕТР ПОСТОЯННОГО ТОКА

Р 32.2 стр.54

Одним из первых приборов, с которых начинают изготовление измерительного комплекса, является простейший вольтметр постоянного тока. И это не случайно: без измерения режимов работы активных элементов (радиоламп, транзисторов, микросхем) конструируемого устройства, даже несложного, порой невозможно добиться его нормальной работы. Однако, налаживая свои конструкции, вы, по-видимому, замечали и существенный недостаток простейшего вольтметра — сравнительно небольшое (всего около 10 кОм) ОВС. Отсюда и возможные (иногда значительные) отличия измеренных напряжений от действительных: ведь вольтметр потребляет от контролируемой цепи ток до 100 мкА. Подключение такой нагрузки, например, к цепи базы маломощного транзистора, где обычно протекают токи, не превышающие нескольких десятков микроампер, существенно изменяет режим транзистора, нарушая работу всего устройства. Иными словами, для измерения напряжений в таких цепях необходим вольтметр со значительно бо́льшим ОВС. Этому требованию отвечает транзисторный вольтметр, которым мы и предлагаем дополнить измерительный комплекс (рис. 27).

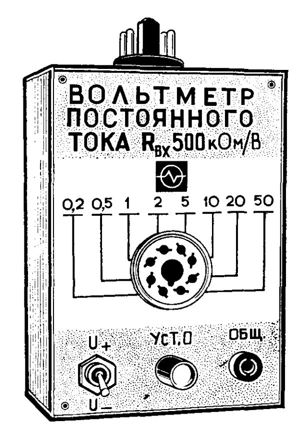


Рис. 27

Вольтметр собран на двух транзисторах и предназначен для измерения постоянных напряжений до 50 В (пределы измерений: 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20 и 50 В) при ОВС около 500 кОм/В. Это позволяет использовать прибор при налаживании практически любых транзисторных устройств. Если же необходимо измерять более высокие напряжения, например в ламповых конструкциях, то верхний предел измерений можно повысить до 500 В с помощью выносного делителя напряжения с коэффициентом деления 10. Уход стрелки индикатора вольтметра («дрейф нуля») не превышает одного деления за час работы. Погрешность прибора зависит в основном от класса точности используемых при калибровке вольтметров и тщательности подбора добавочных резисторов.

Принципиальная схема транзисторного вольтметра постоянного тока показана на рис. 28. Его основой является так называемый дифференциальный усилитель постоянного тока на транзисторах T_1 и T_2. Вместе с резисторами R_{12}—R_{14} участки эмиттер — коллектор транзисторов образуют своеобразный измерительный мост, в одну из диагоналей которого (коллекторы транзисторов — движок переменного резистора R_{13}) включена батарея питания $Б_1$, а в другую

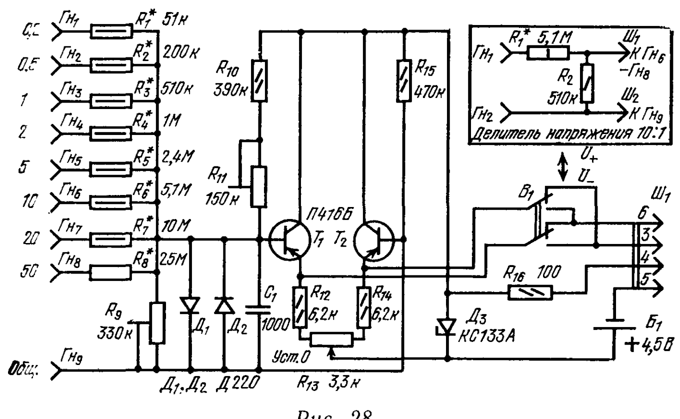


Рис. 28

(эмиттеры транзисторов T_1 и T_2) — микроамперметр основного блока (через контакты переключателя $В_1$ и контакты *3*, *6* разъема $Ш_1$). Измеряемое напряжение подводится к базам транзисторов, вызывая изменение сопротивлений участков эмиттер — коллектор, т. е. разбаланс моста, в результате чего стрелка микроамперметра отклоняется от нулевой отметки. Переключателем $В_1$ можно изменять полярность подключения микроамперметра, что позволяет измерять напряжения любой полярности без перестановки проводов, соединяющих вход вольтметра с контролируемой цепью.

На нулевую отметку шкалы стрелку микроамперметра устанавливают переменным резистором R_{13} (*Уст.* 0). Подстроечный резистор R_{11} также используется для балансировки дифференциального усилителя, но только при налаживании. Измеряемое напряжение поступает на базы транзисторов T_1 и T_2 через делитель, состоящий из одного из резисторов R_1—R_8 и включенных параллельно входного сопротивления дифференциального каскада и подстроечного резистора R_9, который служит для калибровки вольтметра при налаживании. Конденсатор C_1 обеспечивает защиту усилителя от наводок переменного тока.

При работе с прибором не исключена случайная подача на его вход напряжений, значительно превышающих предел измерений, на который он в данный момент включен. Чтобы транзисторы в подобном случае не вышли из строя, вход усилителя шунтирован встречно-параллельно включенными диодами $Д_1$ и $Д_2$. Работа такой защиты (ее называют диодной) основана на особых свойствах прямой ветви вольт-амперной характеристики кремниевого диода. Дело в том, что при прямых напряжениях менее 0,7 В ток через диод практически отсутствует и сопротивление диода составляет (в зависимости от типа) единицы и даже десятки мегаом. Если же напряжение на диоде превышает 0,7 В, он открывается и ток через него резко возрастает, а сопротивление уменьшается до десятков и даже единиц ом. Эту особенность прямой ветви вольт-амперной характеристики кремниевого диода нередко используют для стабилизации малых напряжений, кратных 0,7 В.

При встречно-параллельном включении кремниевых диодов суммарная вольт-амперная характеристика имеет вид, показанный на рис. 29. Подача на встречно-параллельно включенные диоды напряжений любой полярности, больших 0,7 В, приводит к резкому увеличению тока через один из диодов, в то время как напряжение практически не изменяется, оставаясь на уровне +0,7

или —0,7 В. Чтобы диоды не вышли из строя при резком увеличении тока, последовательно с ними включают ограничивающий резистор, сопротивление которого выбирают существенно больше, чем прямое сопротивление открытого диода. В описываемом вольтметре функции ограничивающего резистора выполняет (в зависимости от выбранного предела измерений) один из резисторов R_1—R_8 входного делителя напряжения. Таким образом, благодаря диодам $Д_1$ и $Д_2$ напряжение между базами транзисторов T_1 и T_2 не может превысить 0,7 В — значения, вполне для них безопасного.

Рис. 29

Для питания транзисторного вольтметра на основе дифференциального усилителя необходим источник, выводы которого изолированы от корпуса прибора. Использовать для этой цели батарею основного блока нельзя, так как ее плюсовой вывод соединен с корпусом через общие провода других сменных блоков комплекса.

Вольтметр питается от встроенной в него отдельной батареи $Б_1$, составленной из трех последовательно соединенных элементов 316. Напряжение питания стабилизировано стабилитроном $Д_3$. Для выключения батареи использована одна из секций выключателя основного блока. Соединение с выключателем осуществляется через контакты *4* и *5* разъема $Ш_1$.

Конструкция и детали. Разметка передней панели этого сменного блока комплекса показана на рис. 30.

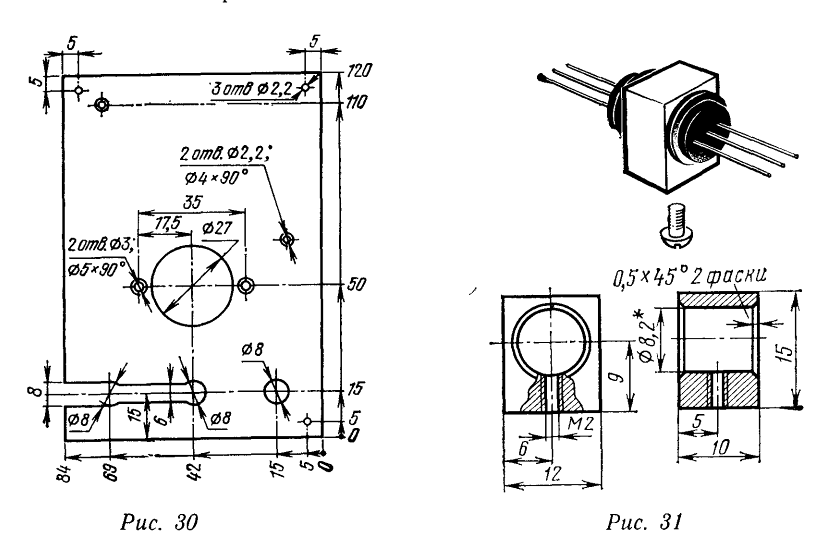


Рис. 30 Рис. 31

Для вольтметра необходимо подобрать транзисторы с близкими значениями статического коэффициента передачи тока $h_{21Э}$ (разница не должна превышать 10%), причем для получения относительного входного сопротивления 500 кОм/В эти коэффициенты должны быть не менее 100. Кроме того, для снижения температурной нестабильности прибора («дрейфа нуля») обратные токи коллекторов $I_{КБО}$ обоих транзисторов должны быть достаточно малыми (не более 1 мкА). Из доступных германиевых транзисторов этим требованиям отвечают транзисторы серии П416, однако для дальнейшего уменьшения температурной нестабильности их желательно плотно вставить (предварительно очистив корпуса от краски) в латунную или дюралюминиевую бобышку (рис. 31). В этом случае при изменении температуры окружающей среды параметры транзисторов будут изменяться одинаково и «дрейф нуля» уменьшится.

Однако наилучшие результаты получатся при использовании кремниевых транзисторов, например, серий КТ301, КТ312, КТ315 (бобышка в этом случае не понадобится). Следует только учесть, что все эти транзисторы имеют структуру *n-p-n*, поэтому полярность включения батареи питания $Б_1$ и стабилитрона $Д_3$ необходимо поменять на обратную той, которая показана на схеме.

Остальные детали вольтметра следующих типов: переменный резистор R_{13} типа СП-I-А; подстроечные резисторы R_9 и R_{11} — соответственно СПЗ-1 и СПО-0,5; постоянные резисторы — МЛТ-0,125 (МЛТ-0,25, ВС-0,125 и т. п.); конденсатор C_1 — КМ (или КСО-2); диоды $Д_1$, $Д_2$ — любые кремниевые малой мощности, переключатель B_1 — микротумблер МТ3.

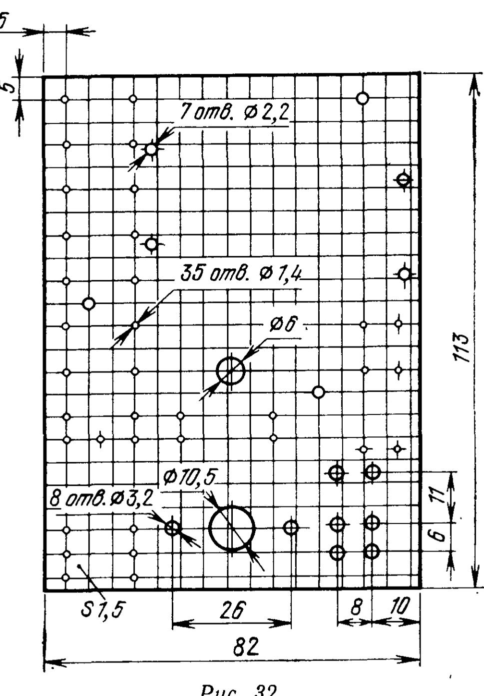


Рис. 32

Все детали, кроме гнезд $Гн_1$—$Гн_8$ (как и в описанных ранее сменных блоках, панель лампы октальной серии), $Гн_9$ (также приборное гнездо) и разъема $Ш_1$ (цоколь от лампы той же серии), смонтированы на плате (рис. 32) из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Схема соединений показана на рис. 33. Диоды $Д_1$—$Д_3$, конденсатор C_1, резисторы R_{10}, R_{12}, R_{14}—R_{16} (на схеме изображены штриховыми линиями) и переключатель B_1 установлены с обратной стороны платы. Переключатель вставлен контактами в отверстия диаметром 3,2 мм и удерживается в плате соединительными проводами, припаянными к контактам с противоположной стороны. Переменный R_{13} и подстроечный R_{11} резисторы установлены осями к передней панели. Доступ к оси резистора R_{11} возможен через отверстие под ключ в ламповой панели, используемой в качестве гнезд $Гн_1$—$Гн_8$. Подстроечный резистор R_9 припаян выводами к стойкам (отрезки медного луженого провода диаметром 1,5 мм), запрессованным в соответствующие отверстия в плате. Такие же стойки использованы и для монтажа добавочных резисторов R_1—R_8.

Элементы 316 батареи питания помещены в самодельную кассету (рис. 34), склеенную из листового полистирола толщиной 2 мм (детали *1*) и 4 мм (детали *3*). Контакты *2* и *4* изготовлены из пружинящей твердой латуни толщиной 0,4 мм. Вместе с кассетой их закрепляют на монтажной плате винтами М2×6, ввинченными в резьбовые отверстия в стенках *3*.

В корпусе прибора плата с деталями закреплена винтами М2×5, ввинченными в резьбовые отверстия двух стоек высотой 20 мм, и гайками переключателя B_1

Налаживание вольтметра начинают с балансировки усилителя. Подключив прибор к основному блоку с помощью технологического четырехпроводного кабеля, устанавливают движки резисторов R_{11} и R_{13} в среднее положение и включают питание. При этом из-за неизбежного разбаланса усилителя стрелка микроамперметра основного блока отклонится влево или вправо от нулевой отметки. Для удобства работы необходимо, чтобы она отклонилась вправо, что нетрудно сделать с помощью переключателя B_1. Добившись этого, соединяют временной перемычкой базы транзисторов T_1 и T_2 и, перемещая движок переменного резистора R_{13}, устанавливают стрелку микроамперметра на нулевую отметку. Затем перемычку, соединяющую базы транзисторов, удаляют и вновь устанавливают стрелку прибора на нуль шкалы, но теперь уже изменяя сопротивление

подстроечного резистора R_{11}. Эти две регулировки взаимозависимы, поэтому указанные операции, чередуя, повторяют до тех пор, пока стрелка не будет оставаться на нулевой отметке как при соединении баз, так и при его отсутствии.

Может случиться, что усилитель удастся сбалансировать только в одном из крайних положений движка подстроечного транзистора R_{11}. В этом случае потребуется подбор резистора R_{10}: его сопротивление должно быть бо́льшим, если

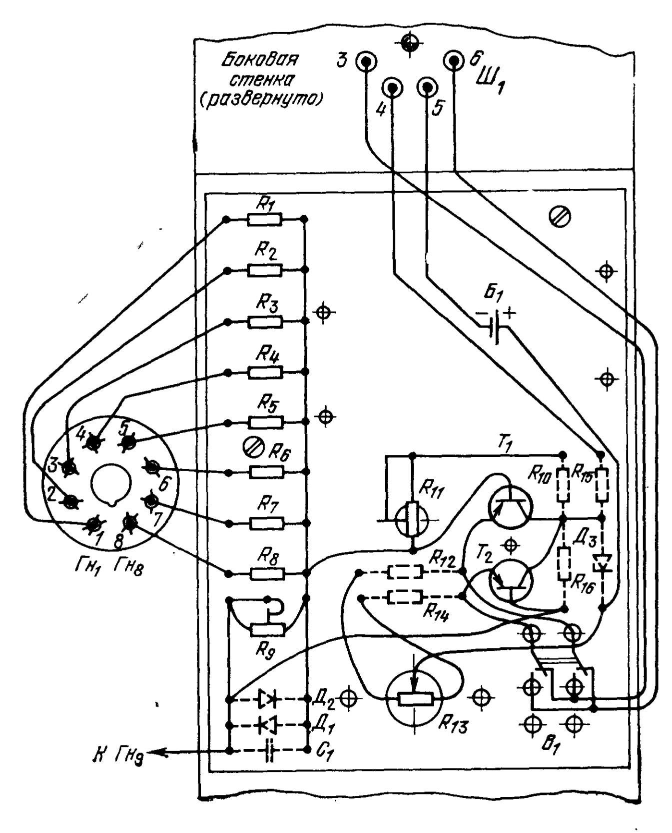


Рис. 33

движок резистора R_{11} оказался в верхнем (по схеме) положении, и меньшим, если движок находится в нижнем положении. Аналогично следует поступать, если при балансировке в одном из крайних положений окажется движок переменного резистора R_{13}, но в этом случае уменьшают сопротивление того из резисторов R_{12} и R_{14}, в сторону которого сдвинут движок.

Калибруют прибор по образцовому вольтметру класса 0,2 или 0,5, пользуясь схемой, приведенной на рис. 17. Первым калибруют предел 1 В. Подав такое напряжение на гнезда $Гн_3$ и $Гн_9$, изменяют сопротивление подстроечного резистора R_9, добиваясь, чтобы стрелка микроамперметра основного блока установилась на конечную отметку шкалы. После этого положение движка резистора фиксируют каплей парафина.

Калибровка остальных пределов измерений ничем не отличается от калибровки вольтметра, описанного выше.

Рис. 34

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

Этот прибор комплекса более сложен, чем предыдущие: выполнен на четырех транзисторах, однако не содержит дефицитных деталей, сравнительно прост в изготовлении и для его налаживания не требуется много времени.

Генератор (рис. 35) предназначен для проверки и налаживания самых разнообразных низкочастотных устройств, работающих в диапазоне частот от 30 Гц до 30 кГц. Этот диапазон разбит на три поддиапазона: 30—300 Гц, 300 Гц — 3 кГц и 3 — 30 кГц. Максимальная амплитуда выходного сигнала 0,2 В, ее можно регулировать плавно и ступенями (уменьшить в 10 и 100 раз). Коэффициент гармоник не превышает 1%, неравномерность амплитуды выходного сигнала во всем диапазоне — 1 дБ.



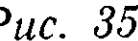


Рис. 35

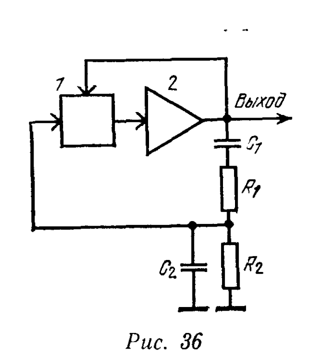


Рис. 36

Чтобы легче было разобраться в работе генератора, рассмотрим его структурную схему, показанную на рис. 36. Здесь *1* — устройство автоматической регулировки, *2* — усилитель. Вообще говоря, генератором электрических колебаний может стать любой усилитель звуковой частоты, если его охватить положительной обратной связью (ПОС), т. е. подать с выхода на вход сигнал, фаза которого такая же, как и у входного. Под действием ПОС колебания напряжений в цепях усилителя, неизбежно возникающие при включении питания, не затухают, а наоборот, быстро растут. Этот рост продолжается до тех пор, пока не установится так называемый стационарный режим, например, из-за нелинейных явлений (ограничения сигнала) в усилителе.

Минимальное число каскадов усилителя на транзисторах, включенных по схеме с общим эмиттером, выходное напряжение которого совпадает по фазе с входным, равно двум. Для превращения такого усилителя в генератор достаточно соединить его вход и выход. Однако в этом случае фазы входного и выходного сигналов будут совпадать в весьма широком диапазоне частот, поэтому спектр генерируемого сигнала будет очень широк, что далеко не всегда удобно для налаживания радиоаппаратуры.

Очевидно, чтобы на выходе получился сигнал одной частоты, цепь ПОС должна создавать необходимый (нулевой) сдвиг фаз только на одной частоте. Этого можно добиться включением в цепь ПОС, охватывающей усилитель *2*, различных *LC*- или *RC*-цепей, например цепи, состоящей из двух резисторов R_1, R_2 и двух конденсаторов C_1 и C_2. На частоте $f=1/2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}$ такая цепь создает сдвиг фаз, равный нулю. Изменяя сопротивления резисторов или емкости конденсаторов, эту частоту (а следовательно, частоту генерируемых колебаний) можно изменять в широких пределах.

На практике сопротивления резисторов R_1 и R_2, так же как и емкости конденсаторов C_1 и C_2, выбирают одинаковыми: $R_1=R_2=R$, $C_1=C_2=C$. В результате формула для расчета частоты упрощается: $f=1/2\pi RC$ (f — в герцах, R — в омах, C — в фарадах). Коэффициент передачи такой *RC*-цепи равен 1/3, т. е. сигнал ослабляется в 3 раза.

При выборе элементов этой *RC*-цепи (ее называют частотозадающей) следует помнить, что формула для расчета частоты справедлива при малом (намного меньшем R_2) выходном и большом (намного большем R_1) входном сопротивлениях усилителя.

Для уменьшения искажений формы выходного сигнала в генератор, кроме ПОС, вводят еще и отрицательную обратную связь (ООС), подбором глубины которой добиваются устойчивой генерации неискаженных колебаний синусоидальной формы.

Неизбежный на практике разброс параметров элементов частотозадающей цепи (в частности, так называемый разбаланс сопротивлений сдвоенных переменных резисторов или емкостей блока конденсаторов переменной емкости — КПЕ) приводит к тому, что и от поддиапазона к поддиапазону, и внутри них коэффициент передачи этой цепи, а следовательно, и амплитуда выходного напряжения изменяются. Для устранения этого явления в генератор нередко вводят элементы регулирования амплитуды — терморезисторы, лампы накаливания и т. п.

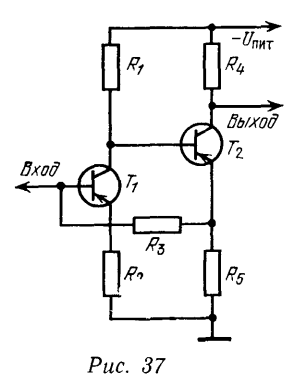


Рис. 37

В описываемом генераторе сигналов постоянство выходного напряжения обеспечивается устройством автоматического регулирования *1*. Он решает две задачи: автоматически устанавливает такой уровень выходного напряжения, при котором искажения отсутствуют (или достаточно малы), и поддерживает его постоянным при переходе с одного поддиапазона на другой и внутри них. Этот уровень определяется выбором элементов цепей автоматического регулирования.

Основным узлом описываемого генератора сигналов является двухкаскадный усилитель (так называемая «двойка»), схема которого показана на рис. 37. Такие усилители широко применяют во многих радиолюбительских конструкциях. В частности,

на их основе построены еще несколько приборов измерительного комплекса (универсальный пробник, милливольтметр переменного тока, измеритель RCL). Популярность «двоек» объясняется их простотой и высокой температурной стабильностью благодаря глубокой ООС по постоянному току через резистор R_3.

Рассчитать и уверенно получить заданные параметры от такого усилителя несложно и доступно даже начинающему радиолюбителю. Нужно знать только закон Ома ($U=IR$), основные соотношения между токами в транзисторе ($I_Э \approx I_К \approx I_Б h_{21Э}$) и несколько положений, определяющих выбор режима работы транзистора, которые заключаются в следующем. Напряжение между коллектором и эмиттером $U_{КЭ}$ должно быть не менее 1—1,5 В: при меньшем напряжении транзистор может войти в режим насыщения, т. е. перестанет усиливать сигнал. Низкие напряжения на коллекторе допустимы только у транзисторов входных каскадов, усиливающих, как правило, небольшие сигналы. Вообще же говоря, германиевые транзисторы могут работать при более низких, чем кремниевые, напряжениях между коллектором и эмиттером, так как напряжение насыщения у них значительно меньше.

Напряжение между базой и эмиттером $U_{БЭ}$ у германиевых транзисторов 0,2—0,3 В и 0,6—0,7 В у кремниевых и практически не зависит от режима их работы. Коллекторный ток $I_К$ зависит от назначения каскада. Во входных каскадах транзисторы обычно используют при $I_К=0{,}2—2$ мА. При токе, меньшем 0,2 мА, может заметно уменьшиться статический коэффициент $h_{21Э}$. Особенно нежелателен такой режим работы для германиевых транзисторов, у которых обратный ток коллектора $I_{КБО}$ сравнительно велик. Что касается выходных каскадов усилителей, подобных показанному на рис. 37, то здесь все определяется сопротивлением нагрузки и ток коллектора транзистора малой мощности может достигать 10—30 мА (разумеется, что токи и напряжения не должны превышать предельно допустимых).

С учетом сказанного рассчитаем усилитель для генератора сигналов на германиевых p-n-p-транзисторах с $h_{Э21}=30$ при напряжении питания $U_{пит}=$ $=9{,}5$ В*.

Зададимся минимальным значением напряжения на коллекторе первого транзистора $U_{КT_1}=1{,}4$ В. Тогда напряжение на эмиттере транзистора T_2 должно быть $U_{ЭT_2}=U_{КT_1}—0{,}2$ В$=1{,}2$ В. Поскольку сопротивление нагрузки в данном случае невелико — всего лишь сотни ом, то коллекторный ток транзистора T_2 выберем равным 12 мА (на нагрузке 200 Ом это позволит получить выходное напряжение амплитудой примерно 1,2 В). Сопротивление резистора R_5 в цепи эмиттера транзистора T_2 рассчитаем по закону Ома: $R_5=U_{ЭT_2}/I_{ЭT_2}\approx$ $\approx U_{ЭT_2}/I_{КT_2}=100$ Ом**.

Напряжение на коллекторе транзистора T_2 выбирают обычно, исходя из требуемой амплитуды выходного сигнала $U_с$. Чтобы исключить искажения сигнала из-за входа транзистора в область насыщения, оно должно удовлетворять условию $U_{КT_2}\geqslant U_{R_5}+U_{КЭT_2}+U_с$. В данном случае $U_{R_5}=U_{ЭT_2}=1{,}2$ В, $U_{КЭT_2}=1—1{,}5$ В, поэтому при $U_с=0{,}2$ В получаем $U_{КT_2}\geqslant 2{,}4—2{,}9$ В. С некоторым запасом выбираем $U_{КT_2}=4$ В.

Несколько иначе обстоит дело, если от выходного каскада необходимо получить максимальный неискаженный сигнал. В этом случае напряжение $U_{КT_2}$ следует выбирать из соотношения $U'_{КT_2}=(U_{пит}+U''_{КT_2})/2$, где $U''_{КT_2}=U_{R_5}+$ $+U_{КЭT_2}$ — минимальное напряжение на коллекторе, равное 2,2 В при $U_{R_5}=$ $=1{,}2$ В и $U_{КЭT_2}=1$ В.

---

* Во всех дальнейших расчетах значения напряжений будут использоваться без учета полярности. Это позволит применять одни и те же формулы для расчета усилителей на транзисторах любой структуры. Переход к абсолютным значениям для транзисторов структуры p-n-p очевиден: все рассчитанные напряжения надо брать со знаком «минус».

** Здесь и далее приведены ближайшие к расчетным значения из так называемого стандартного ряда.

Сопротивление резистора R_4 вычисляют по формуле $R_4=(U_{пит}-$ $-U_{КТ_2})/I_{КТ_2}$. Нетрудно убедиться, что в нашем случае оно равно примерно 470 Ом.

Для расчета входного каскада необходимо знать ток базы транзистора T_2. При $h_{21Э}=30$ $I_{БТ_2}=I_{КТ_2}/h_{21Э}\approx 0{,}4$ мА. (Заметим, что резистор R_2 в генераторе сигналов отсутствует, поэтому о его влиянии на работу усилителя будет сказано дальше.) Выбрав коллекторный ток транзистора T_1 равным 0,7 мА, определим суммарный ток I через резистор R_1: $I=I_{КТ_1}+I_{БТ_2}=1{,}1$ мА. Тогда сопротивление резистора нетрудно найти по закону Ома: $R_1=(U_{пит}-U_{КТ_1})/I\approx 7{,}5$ кОм. В последнюю очередь рассчитывают сопротивление резистора R_3, определяющего ток базы T_1. При $h_{21Э}=30$ ток $I_{БТ_1}=I_{КТ_1}/h_{21Э}\approx 23$ мкА. Такой ток получится при $R_3=(U_{ЭТ_2}-U_{ЭБТ_1})/I_{БТ_1}\approx 43$ кОм.

А как быть, если статические коэффициенты передачи тока транзисторов неодинаковы и отличаются от указанных в примере? В этом случае номиналы некоторых резисторов придется изменить, рассчитав их по приведенным формулам. Так, если бóльшим окажется коэффициент $h_{21Э}$ первого транзистора, то для сохранения выбранного режима работы усилителя по постоянному току необходимо увеличить сопротивление резистора R_3 (например, при $h_{21ЭT_1}=60$ его сопротивление должно быть в пределах 82—91 кОм). Если же больше 30 окажется коэффициент $h_{21ЭT_2}$, то необходимо увеличить сопротивление резистора R_1. В небольших пределах режим работы обоих транзисторов (по напряжению) можно регулировать подбором только резистора R_3, однако при этом ток через транзистор T_1 будет изменяться, что не всегда приемлемо, так как с ростом тока $I_{КT_1}$ входное сопротивление усилителя уменьшается.

Точно так же рассчитываются подобные усилители и на кремниевых транзисторах, но в этом случае приходится учитывать следующее. Поскольку для этих транзисторов $U_{БЭ}\approx 0{,}7$ В, а ток базы транзистора T_1 создается падением напряжения на резисторе R_5, последнее должно быть больше 0,7 В (обычно его выбирают в пределах 0,9—1 В). А это означает, что напряжение на коллекторе транзистора T_2 уже нельзя выбирать ниже 1,6—1,7 В.

Несколько слов о резисторе R_2. Обычно его сопротивление выбирают в пределах 50—200 Ом, что несколько повышает входное сопротивление усилителя и его температурную стабильность. Кроме того, этот резистор используется иногда для введения в усилитель дополнительных ООС (так, например, сделано в универсальном пробнике, милливольтметре переменного тока). Падение напряжения на этом резисторе не превышает 0,02—0,15 В, поэтому в прикидочных расчетах его можно не учитывать.

Результаты приведенного выше расчета усилителя для транзисторов с $h_{21Э}=$ $=30$ хорошо согласуются с практикой. В этом нетрудно убедиться, взглянув на принципиальную схему генератора сигналов, изображенную на рис. 38 (в приборе применены транзисторы именно с такими коэффициентами $h_{21Э}$).

Как видно из схемы, напряжение ПОС, превращающей усилитель в генератор синусоидальных колебаний, подается с его выхода (коллектор транзистора T_2) на вход (база транзистора T_1) через два делителя напряжения. Один из них (частотно-зависимый) состоит из резисторов R_1—R_4 и, в зависимости от выбранного переключателем B_1 поддиапазона частот, конденсаторов C_2—C_4 и C_5—C_7, другой (регулируемый) — из конденсаторов C_1, C_8, C_9, резистора R_5 и участка эмиттер — коллектор транзистора T_3 (конденсаторы C_1 и C_9 разделительные). Плавная перестройка генератора по частоте производится сдвоенным переменным резистором R_2R_4.

Транзистор T_3, включенный в нижнее плечо регулируемого делителя напряжения, выполняет функции автоматического регулятора амплитуды выходного сигнала. Как видно из схемы, напряжение с выхода генератора через эмиттерный повторитель на транзисторе T_4, конденсатор C_{11} и резистор R_{11} поступает на выпрямитель, собранный на диодах $Д_1$, $Д_2$ по схеме удвоения напряжения. Выпрямленное напряжение с фильтрующего конденсатора C_{10} подводится к базе транзистора T_3 и смещает его коллекторный переход в прямом направлении, уменьшая тем самым сопротивление участка эмиттер — коллектор. Если по ка-

ким-либо причинам выходное напряжение генератора увеличится, то возрастет и напряжение смещения на базе регулирующего транзистора. В результате сопротивление его участка эмиттер — коллектор, т. е. сопротивление нижнего плеча регулируемого делителя напряжения, уменьшится. В конечном счете это приведет к уменьшению глубины ПОС и восстановлению прежнего уровня выход-

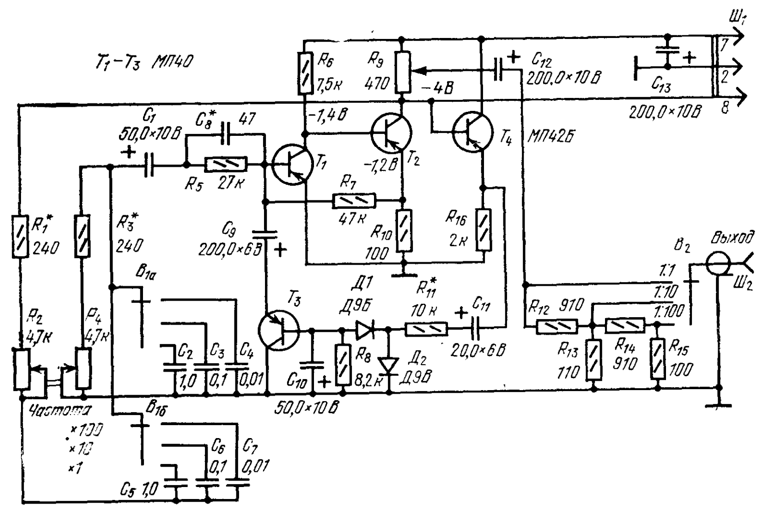


Рис. 38

ного напряжения. При уменьшении амплитуды сигнала процесс регулирования протекает в противоположном направлении (напряжение смещения на базе транзистора уменьшается, сопротивление участка эмиттер — коллектор растет, увеличивая тем самым глубину ПОС, и т. д.).

Сопротивление резистора R_8, шунтирующего коллекторный переход транзистора T_3, подобрано таким образом, что амплитуда выходного напряжения стабилизируется на уровне 0,2 В. Несколько необычное включение транзистора (управляющее напряжение подается не на эмиттерный, а на коллекторный переход) объясняется тем, что в этом случае удается получить меньшую неравномерность амплитуды выходного сигнала в рабочем диапазоне частот.

С движка переменного резистора R_9 — плавного регулятора амплитуды выходного сигнала — напряжение через конденсатор C_{12} поступает на ступенчатый регулятор (аттенюатор), состоящий из резисторов R_{12}—R_{15} и переключателя B_2. В зависимости от положения этого переключателя с гнезда коаксиального разъема $Ш_2$ можно снять либо все выходное напряжение (естественно, если движок переменного резистора R_9 находится в верхнем по схеме положении), либо его десятую (*1 : 10*) или сотую (*1 : 100*) часть.

Генератор питается от батареи или сетевого блока комплекса через контакты *2* и *7* разъема $Ш_1$. Выходное напряжение, поданное непосредственно с коллектора транзистора T_2 на контакт *8*, используется для работы измерителя *RCL* и генератора сигналов высокой частоты.

Конструкция и детали. Генератор собран в таком же корпусе, что и остальные сменные блоки комплекса. Разметка его передней панели и боковой стенки, на которой установлена гнездовая часть разъема $Ш_2$ (высокочастотный коаксиальный разъем СР-50-73 ФВР или антенное гнездо от телевизора), показана на рис. 39.

Для плавной перестройки генератора по частоте применен самодельный сдвоенный переменный резистор (рис. 40), который изготовлен из двух одинарных резисторов *1* (СП-I-А), закрепленных на монтажной плате *2*. На осях резисторов с помощью установочных винтов М3×6 закреплены одинаковые шкивы *3*, выточенные из органического стекла (или другого подходящего материала). Тросик *5*, объединяющий резисторы *1* в сдвоенный блок, — капроновая

жила диаметром 0,4 мм. Тросик охватывает каждый из шкивов тремя оборотами. Необходимое сцепление его со шкивами обеспечено натяжением при завязывании узла. Для предотвращения самопроизвольного развязывания концы тросика оплавлены в пламени спички (до образования шариков) в непосредственной близости от узла. На левой (по рис. 40) ветви тросика закреплена стрелка-указатель шкалы *4*, согнутая из стальной проволоки диаметром 0,5 мм. Сама шкала вычерчена на полоске бумаги, наклеенной на П-образную скобу *6* (АМц-П), которая закреплена на монтажной плате *2* гайками переменных резисторов.

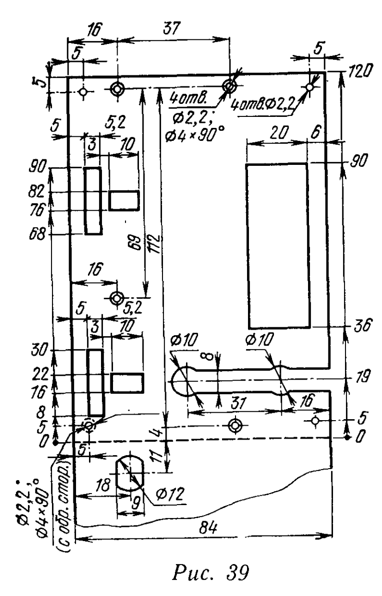


Рис. 39

Вместо самодельного можно использовать и сдвоенный переменный резистор, например, типа СП-III, однако в этом случае конструкцию прибора придется изменить.

В частотозадающей цепи генератора применены конденсаторы БМ (C_4, C_7) и МБМ (C_2, C_3, C_5, C_6) с допускаемым отклонением емкости от номинала $\pm 10\%$. Переменный резистор R_9 — СП-I-А, все постоянные резисторы — МЛТ-0,25 (МЛТ-0,125, ВС-0,125 и т. п.), конденсатор C_8 керамический (или слюдяной) любого типа, все остальные конденсаторы электролитические К50-6. В генераторе можно использовать низкочастотные германиевые транзисторы серий МП39—МП42 со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21Э}$ от 30 и выше (измеряют при эмиттерном токе 1 мА). Транзистор с наибольшим коэффициентом устанавливают в первый каскад (T_1), с наименьшим — в регулирующий (T_3). Транзистор эмиттерного повторителя T_4 должен иметь $h_{21Э}$ не менее 50. Диоды $Д_1$ и $Д_2$ любые германиевые, из серий Д2 или Д9.

Переключатели B_1 и B_2 движковые, от транзисторного радиоприемника «Сокол». Один из них (B_1) переделан в двухполюсный на три положения, дру-

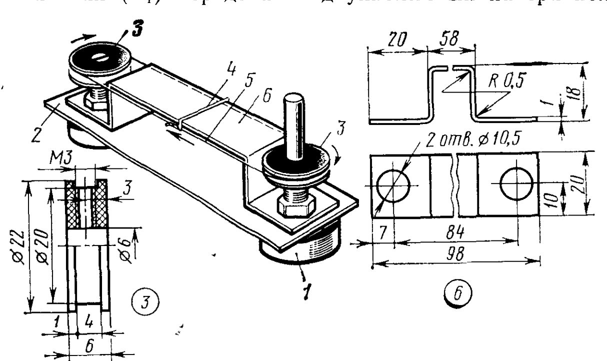


Рис. 40

гой (B_2) — в однополюсный на столько же положений. Для этого в первом переключателе оставляют 12 неподвижных и 4 подвижных контакта, во втором — 7 неподвижных и 2 подвижных. Схемы, поясняющие установку подвижных контактов, приведены на рис. 41.

Переключатели снабжены указателями (рис. 42), конструктивно выполненными так же, как и в испытателе транзисторов. Для наблюдения надписей в передней стенке выпилены окна прямоугольной формы.

Все детали генератора, кроме разъемов $Ш_1$ (цоколь радиолампы октальной серии) и $Ш_2$ (указанного выше типа или любой другой, например антенное гнездо от телевизора), смонтированы на двух платах (рис. 43) из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. В корпусе прибора они закреплены винтами М2×5, ввинченными в резьбовые отверстия стоек высотой 20 мм (таких же, как и в

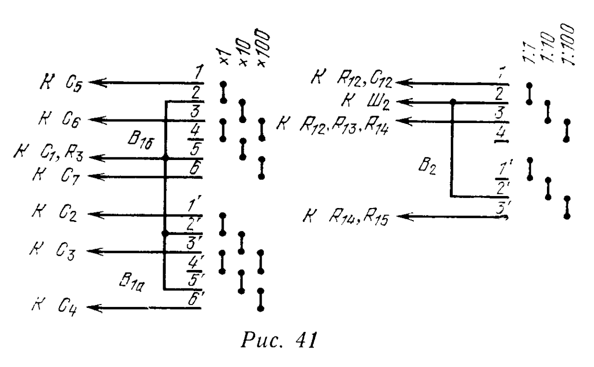


Рис. 41

двух ранее описанных приборах). Всего необходимо изготовить четыре стойки, по две на каждую плату. Для большей жесткости конструкции платы соединены планкой размерами 8×16 мм (Д16-Т толщиной 1,5 мм) с отверстиями и двумя винтами М2×5, ввинченными в резьбовые отверстия плат.

Схема соединений генератора показана на рис. 44 (штриховыми линиями изображены детали, установленные с противоположной стороны платы). Как видно из схемы, большинство деталей соединены друг с другом непосредственно своими выводами. С разъемами $Ш_1$, $Ш_2$ и переключателями B_1, B_2 детали соединены гибким монтажным проводом МГШВ 0,14 мм².

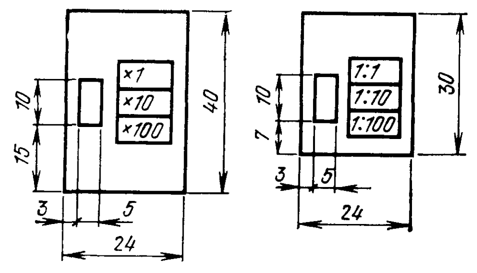


Рис. 42

Налаживание генератора сводится к установке границ поддиапазонов и градуировке шкалы в одном из них. Выполнить эту работу можно как с помощью других измерительных приборов (например, частотомера или образцового генератора звуковой частоты и осциллографа), так и без них, воспользовавшись настроенным музыкальным инструментом (пианино, баяном, аккордеоном) и УНЧ с выходной мощностью не менее 0,5 Вт. На время налаживания с основным блоком генератор соединяют трехпроводным кабелем с октальным цоколем и ламповой панелью на концах.

При наличии образцового генератора сигналов звуковой частоты и осциллографа измерительную схему собирают в соответствии с рис. 45 (здесь *1* и *3* — соответственно налаживаемый и образцовый генераторы, *2* — осциллограф). Заменив временно резисторы R_1 и R_3 переменными (сопротивлением 470 Ом), устанавливают движки резисторов R_2 и R_4 в верхнее (по схеме) положение, движок переключателя B_1 в нижнее, а B_2 в верхнее, включают питание всех приборов и, медленно изменяя частоту образцового генератора *3* в диапазоне 200—500 Гц, добиваются получения на экране осциллографа неподвижного изображения эллипса или прямой линии (фигуры Лиссажу). Частота, отсчитанная по шкале образцового генератора, и будет фактической верхней границей низкочастотного поддиапазона налаживаемого генератора. После этого образцовый генератор настраивают на частоту 300 Гц и изменяют сопротивления резисторов R_1 и R_3 до получения на экране осциллографа тех же неподвижных фигур. Добившись этого, перестраивают налаживаемый генератор в другой конец поддиапазона и, изменяя частоту образцового генератора в диапазоне 20—

50 Гц, измеряют таким же способом низшую частоту поддиапазона. Если она окажется ниже 30 Гц, емкость конденсаторов C_2 и C_5 необходимо уменьшить (заменить их конденсаторами меньшей емкости), а если выше, увеличить (подпаяв, например, параллельно им подобранные опытным путем конденсаторы необходимой емкости). Затем налаживаемый генератор еще раз настраивают

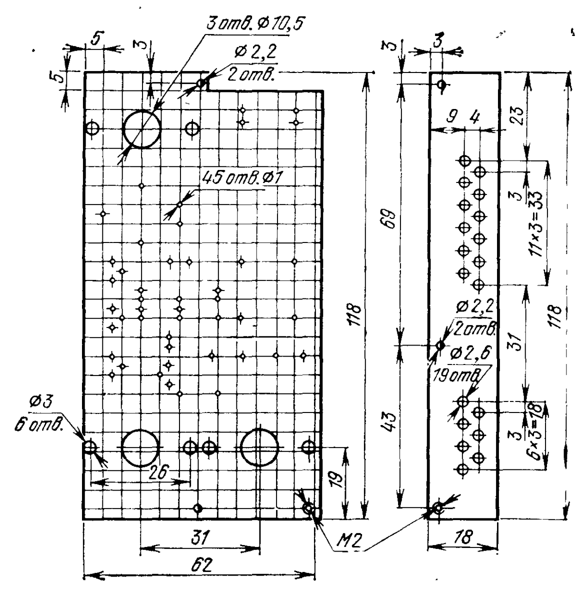


Рис. 43

на высшую частоту поддиапазона и, измерив ее, подбирают, при необходимости, более точно сопротивления резисторов R_1 и R_3. После этого измеряют омметром сопротивления введенных частей резисторов и заменяют их постоянными резисторами такого же сопротивления.

Методика градуировки шкалы генератора практически та же. Последовательно настраивая образцовый генератор на разные частоты низкочастотного поддиапазона налаживаемого прибора, перестраивают последний до равенства частот и на его шкале, точно под стрелкой, ставят метку. В области частот 30—40 Гц такие метки наносят через 1 Гц, в области 40—100 Гц — через 5 Гц, а выше — через каждые 25—50 Гц.

Для того чтобы полученной шкалой можно было пользоваться и в других поддиапазонах частот (умножая значения, отсчитанные по ней, на 10 или 100), необходимо подобрать конденсаторы C_3 и C_6, C_4 и C_7. Сделать это можно на любой частоте соответствующего поддиапазона. Например, установив стрелку-указатель налаживаемого генератора на отметку шкалы, соответствующую низкочастотной границе поддиапазона, переключают его на поддиапазон 300 Гц—3 кГц и, не изменяя положения сдвоенного переменного резистора, подбирают конденсаторы C_3 и C_6 так, чтобы частота генерируемых колебаний стала равной 300 Гц (измеряют ее описанным выше способом по фигурам Лиссажу). И в этом случае понижения частоты добиваются увеличением емкости конденсаторов, а повышения — уменьшением ее. Затем генератор переключают на поддиапазон 3—30 кГц и подбирают конденсаторы C_4 и C_7, добиваясь того, чтобы нижняя граничная частота стала равной 3 кГц.

При налаживании с помощью музыкального инструмента калибруемый генератор подключают к УНЧ. Установив органы управления в те же положения, что и при выполнении этой работы по приборам, изменяют сопротивления резисторов R_1 и R_3, добиваясь совпадения по высоте звука от генератора со зву-

ком ре первой октавы (примерно 294 Гц). Затем переводят движки резисторов R_2 и R_4 в нижнее (по схеме) положение и измеряют низшую частоту рабочего диапазона. Звук от генератора должен в этом случае совпадать по высоте со звуком си-бемоль субконтроктавы (примерно 29 Гц). При отсутствии такого звука у музыкального инструмента низшую частоту генератора можно проверить по звуку си-бемоль контроктавы, но в этом случае высота звука от генератора должна быть на октаву ниже. Если необходимо, требуемую границу поддиапазона устанавливают, как и ранее, подбором конденсаторов C_2 и C_5.

Градуируют генератор, извлекая поочередно звуки, соответствующие нотам, приведенным в табл. 3. Для калибровки двух других поддиапазонов используют звуки ре первой октавы (поддиапазон 300 Гц — 3 кГц) и фа-диез четвертой октавы (поддиапазон 3—30 кГц). Требуемой амплитуды выходного напряжения добиваются подбором резистора R_{11}.

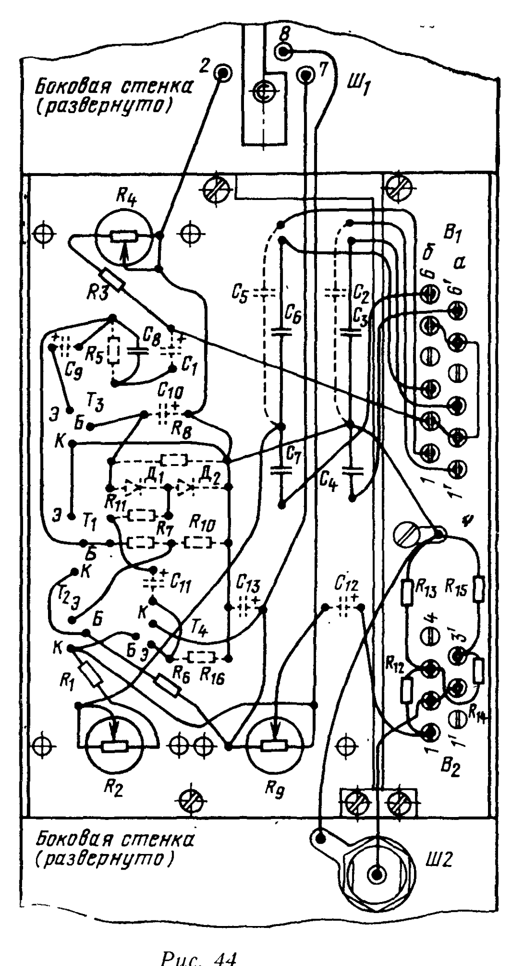


Рис. 44

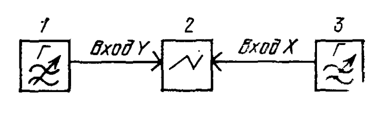


Рис. 45

Таблица 3

Звук	Октава	Частота, Гц (приближенно)	Звук	Октава	Частота, Гц (приближенно)
Си-бемоль	Субконтроктава	29	Ми	Большая	82
До-диез	Контроктава	35	Соль	«	98
Ми	«	41	Си	«	123
Фа-диез	«	46	Ре	Малая	147
Соль	«	49	Соль	«	196
Ля	«	55	Си	«	247
Си	«	62	Ре	Первая	294
До-диез	Большая	69	Фа-диез	Четвертая	2960

МИЛЛИВОЛЬТМЕТР ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Вместе с генератором сигналов звуковой частоты этот сменный блок измерительного комплекса позволит быстро проверить и наладить низкочастотный тракт радиоприемника, УНЧ, электронный музыкальный инструмент, цветомузыкальное или иное низкочастотное устройство. В милливольтметре использовано пять транзисторов, и поэтому может показаться, что он достаточно сложен. Но это не так. Вы, наверное, из своей практики знаете, что нередко простое на первый взгляд устройство, содержащее минимум деталей, оказывается очень трудоемким в налаживании и, наоборот, вроде бы сложный (по числу деталей) прибор почти не требует наладки. По мнению авторов, простыми следует считать устройства, хотя и содержащие относительно много деталей, но несложные в налаживании. Так, милливольтметр с такими же характеристиками, что и описываемый здесь, можно было бы собрать всего на трех транзисторах, но для этого потребовались бы транзисторы со статическим коэффициентом передачи тока более 100, а требуемые параметры прибора пришлось бы из него буквально «выжимать». Налаживание такого прибора могло бы оказаться непосильной задачей для не очень искушенного в транзисторной технике радиолюбителя. В описываемом приборе можно использовать любые низкочастотные транзисторы с $h_{21Э}$ от 30 и выше, а методика налаживания предельно упрощена.



Рис. 46

Милливольтметр (рис. 46) позволяет измерять переменные напряжения от 3—5 мВ до 5 В частотой от 30 Гц до 30 кГц. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики в этом диапазоне не превышает 1 дБ. Так же, как и в ранее описанных вольтметре постоянного тока и миллиамперметре, пределы измерений выбраны кратными числам 1, 2 и 5 (10, 20, 50, 100, 200, 500 мВ; 1, 2, и 5 В). Для милливольтметра переменного тока это особенно важно, так как у подобных приборов начальный участок шкалы (20—25%) нелинеен. Выбор кратности пределов указанным числам уменьшает погрешность измерений, поскольку для отсчета пользуются наиболее точной, второй половиной шкалы. Наконец, что не менее важно, можно обойтись одной шкалой микроамперметра со 100 делениями — пересчет его показаний в значения напряжения на всех пределах весьма прост.

Входное сопротивление милливольтметра на первых трех пределах примерно 100 кОм, на остальных — 1 МОм.

Погрешность измерений зависит, в основном, от образцового прибора. При калибровке по авометру ТТ-1 или Ц-20 и методике, описанной ниже, она не превысит 10—15%.

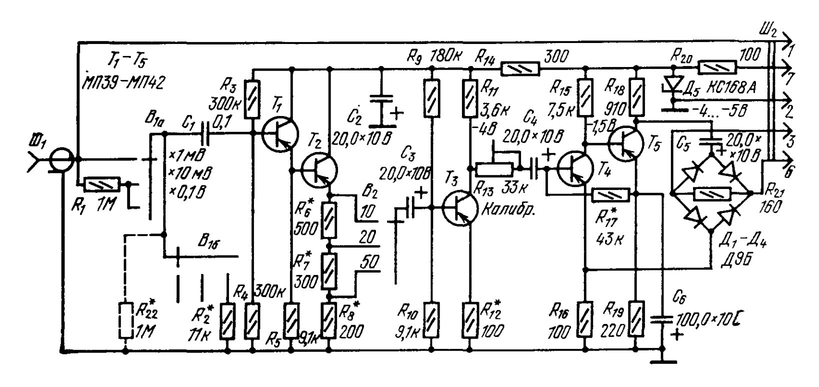


Рис. 47

Принципиальная схема милливольтметра показана на рис. 47. Он состоит из входного эмиттерного повторителя на составном транзисторе T_1T_2, усилительного каскада на транзисторе T_3 и вольтметра переменного тока, представляющего собой двухкаскадный усилитель на транзисторах T_4, T_5, охваченный цепью ООС, в которую через выпрямительный мост $Д_1—Д_4$ включен микроамперметр основного блока (соединяется через контакты *3* и *6* разъема $Ш_2$).

Измеряемое переменное напряжение с разъема $Ш_1$ подается на эмиттерный повторитель через делитель напряжения, состоящий из резисторов R_1, R_2 и R_{22}. С помощью переключателя B_1, коммутирующего эти резисторы, напряжение, поступающее на вход эмиттерного повторителя, можно уменьшить в 10 или 100 раз. Уменьшение в 10 раз происходит при установке переключателя в положение $\times$*10 мВ* (делитель напряжения при этом состоит из резистора R_1 и включенных параллельно резистора R_{22} и входного сопротивления эмиттерного повторителя). Резистор R_{22} необходим для точной установки входного сопротивления, равного 100 кОм. При установке переключателя в положение $\times$*0,1 В* на вход эмиттерного повторителя поступает 1/100 часть измеряемого напряжения. В этом случае параллельно нижнему плечу делителя подключается резистор R_2.

Эмиттерный повторитель выполнен на так называемом составном транзисторе (комбинация из транзисторов T_1 и T_2 эквивалентна одному транзистору, коэффициент передачи тока которого примерно равен произведению коэффициентов передачи тока обоих транзисторов). Это позволило получить высокостабильный, не требующий налаживания каскад с большим входным и малым выходным сопротивлениями при использовании транзисторов со сравнительно низкими (около 30) значениями $h_{21Э}$. Коэффициент передачи эмиттерного повторителя близок к единице.

Нагрузкой эмиттерного повторителя служит еще один делитель напряжения, состоящий из резисторов $R_6—R_8$. Он дает возможность ослабить сигнал, поступающий на усилитель (T_3) в 2 и 5 раз. Таким образом, оба делителя (входной и рассматриваемый) обеспечивают девять пределов измерений, указанных выше.

Следующий каскад милливольтметра — усилитель напряжения НЧ на транзисторе T_3 (коэффициент усиления около 30) — обеспечивает возможность измерения малых напряжений. С выхода этого каскада напряжение НЧ через подстроечный резистор R_{13} и конденсатор C_4 поступает на вход вольтметра переменного тока с линейной шкалой на транзисторах T_4 и T_5. Глубина ООС через выпрямительный мост $Д_1—Д_4$ (а следовательно, и коэффициент усиления усилителя на транзисторах T_4 и T_5) зависит от прямого сопротивления его диодов. При больших переменных напряжениях это сопротивление мало и эффективность выпрямления достаточно высока. В этом случае глубина ООС также оказывается большой, а коэффициент усиления — малым. При уменьшении же напряжения прямое сопротивление диодов увеличивается. Казалось бы, что в результате должна уменьшиться эффективность выпрямления ими переменного тока. Однако этого не происходит, так как с увеличением прямого сопротивления диодов уменьшается глубина ООС, охватывающей усилитель. В результате увеличивается его коэффициент усиления и на диодный мост поступает большее напряжение. Все это и приводит к линеаризации шкалы прибора, включенного в диагональ моста.

Улучшению линейности способствует также резистор R_{21}, шунтирующий микроамперметр. Этот резистор увеличивает ток через диоды, т. е. выводит их рабочие точки на менее нелинейные участки вольт-амперных характеристик. Нелинейность шкалы милливольтметра в интервале отметок 30—100 не превышает 3%, а в рабочем участке (40—100) — 2%.

Резистор R_{13} предназначен для регулировки чувствительности прибора при калибровке. Для уменьшения погрешности измерений милливольтметр питается стабилизированным напряжением, снимаемым со стабилитрона $Д_5$.

Конструкция и детали. Как и остальные сменные блоки, милливольтметр собран в металлическом корпусе. Разметка его передней и одной из боковых стенок (той, на которой установлено гнездо разъема $Ш_1$) показана на рис. 48. Разъем $Ш_1$ того же типа, что и в генераторе сигналов звуковой частоты, $Ш_2$ — цоколь лампы октальной серии.

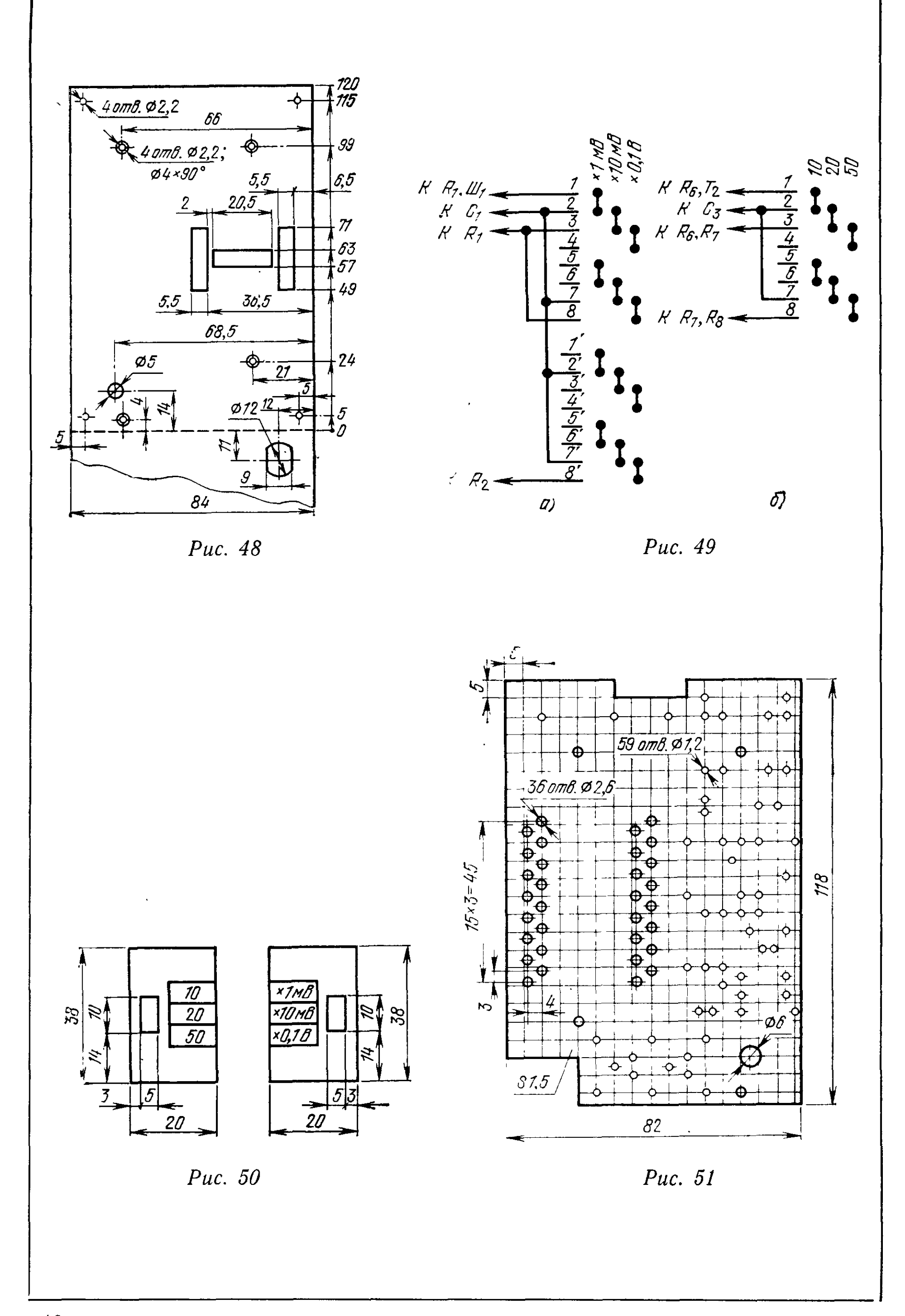


Рис. 48

Рис. 49

Рис. 50

Рис. 51

Милливольтметр можно собрать на любых низкочастотных маломощных транзисторах. Статический коэффициент передачи тока $h_{21Э}$ может быть в пределах 30—60 (измеряют при токе эмиттера 1 мА). Транзисторы с большими коэффициентами устанавливают на место T_1 и T_4. Диоды $Д_1$—$Д_4$ любые германиевые из серий Д2 или Д9. Стабилитрон КС168А ($Д_5$) можно заменить двумя последовательно соединенными стабилитронами КС133А. В приборе применены конденсаторы МБМ (C_1) и К50-6 (остальные), подстроечный резистор (R_{13}), СПО-0,5, постоянные резисторы МЛТ-0,25 (МЛТ-0,125, ВС-0,125 и т. п.).

Переключатели B_1 и B_2 движковые, от приемника «Сокол», доработанные с таким расчетом, чтобы каждый из них стал двухполюсным на три положения. Для этого удалены крайние неподвижные контакты (по одному в каждом ряду), число подвижных контактов-перемычек уменьшено до четырех, причем они переставлены в соответствии со схемами коммутации, показанными на рис. 49,*а* для переключателя B_1 и рис. 49,*б* для B_2. Как и в ранее описанных приборах переключатели снабжены указателями положений (рис. 50), изготовленными из полосок плотной бумаги.

Детали милливольтметра, кроме разъемов $Ш_1$ и $Ш_2$, смонтированы на плате (рис. 51) из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Переключатели B_1 и B_2 вставлены контактами в отверстия диаметром 2,6 мм с обратной стороны платы и удерживаются на ней припаянными к контактам соединительными проводниками (см. схему соединений на рис. 52). На этой же стороне платы установлено и большинство остальных деталей прибора (изображены штриховыми линиями), лишь резисторы R_1, R_2, R_6—R_8, R_{13} да конденсатор C_1 смонтированы на противоположной ее стороне. Подстроечный резистор R_{13} (*Калибр.*) закреплен на плате гайкой — осью в сторону передней стенки корпуса. Для доступа к оси при калибровке в передней стенке предусмотрено отверстие диаметром 5 мм (под отвертку).

В корпусе плата закреплена четырьмя винтами М2×5, ввинченными в резьбовые стойки высотой 20 мм из органического стекла. Для крепления стоек к корпусу использованы такие же винты, но с потайной головкой.

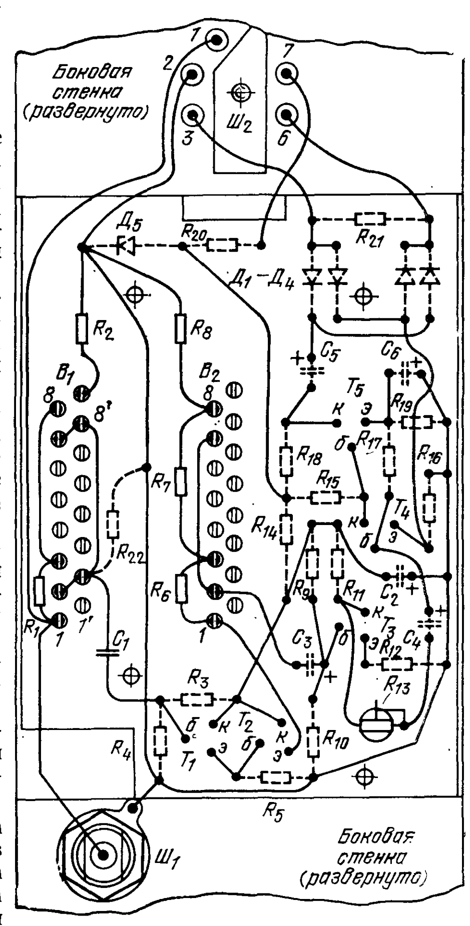


Рис. 52

Налаживание милливольтметра начинают с подбора резисторов R_6—R_8 делителя в цепи эмиттера транзистора T_2. Для этого провода от контактов *1* и *2* переключателя B_2 (см. рис. 49) временно отпаивают от конденсатора C_3 и эмиттера транзистора T_2. Затем контакт *1* и общий провод милливольтметра соединяют с батареей питания, установленной в основном блоке, а между контактом *2* и общим проводом включают последовательно соединенные микроамперметр основного блока и переменный резистор сопротивлением 100—150 кОм. Чтобы не повредить микроамперметр, движок переменного резистора необходимо пред-

варительно установить в положение, соответствующее максимальному сопротивлению цепи.

Затем устанавливают переключатель B_2 в положение *10* и, включив батарею выключателем основного блока, уменьшают сопротивление переменного резистора до тех пор, пока стрелка микроамперметра не установится точно на конечную отметку шкалы. Затем переключатель B_2 переводят в положение *20* и, подбирая резистор R_6, устанавливают стрелку прибора на среднюю отметку шкалы. Добившись этого, вновь уменьшают сопротивление в цепи микроамперметра и устанавливают его стрелку на конечную отметку шкалы. Затем переводят переключатель в положение *50* и подбором резистора R_7 устанавливают стрелку микроамперметра на отметку, соответствующую 40% его шкалы. Операцию по подбору резисторов R_6 и R_7 необходимо повторить несколько раз, стремясь к тому, чтобы делитель R_6—R_8 делил напряжение батареи питания точно в отношении 1 : 0,5 : 0,2.

После этого восстанавливают соединение переключателя B_2 с конденсатором C_3 и эмиттером транзистора T_2, подключают милливольтметр к основному блоку комплекса с помощью четырехпроводного технологического кабеля и подбором резистора R_{17} устанавливают на коллекторе транзистора T_5 напряжение в пределах, указанных на схеме. Затем движок подстроечного резистора R_{13} устанавливают в среднее положение, переводят переключатели B_1 и B_2 соответственно в положения *×1 мВ* и *50* (предел измерений 50 мВ) и подают на вход прибора (разъем $Ш_1$) переменное напряжение 30—50 мВ частотой 50 Гц. Получить его можно от регулируемого делителя напряжения (его составляют из переменного резистора сопротивлением 100—200 Ом и соединенного с ним последовательно постоянного резистора сопротивлением 4,7—6,2 кОм), подключенного к накальной обмотке трансформатора питания лампового приемника.

Переменное напряжение на входе прибора подбирают так, чтобы стрелка микроамперметра установилась точно на конечную (*100*) отметку шкалы. Затем милливольтметр переключают на предел 100 мВ (B_1 в положении *×10 мВ*, B_2 — *10*). Стрелка прибора должна при этом установиться на среднюю (*50*) отметку шкалы. Если этого не произойдет, то левый (по схеме) вывод конденсатора C_1 следует соединить с общим проводом через резистор R_{22} (на схеме показан штриховой линией) и подобрать его так, чтобы стрелка микроамперметра установилась точно на средней отметке шкалы. Добившись этого, переключатель B_2 переводят в положение *50* (предел 500 мВ), заменяют постоянный резистор в управляемом делителе другим (сопротивлением 1 кОм) и увеличивают напряжение на входе милливольтметра до тех пор, пока стрелка вновь не установится на конечную отметку шкалы.

Затем прибор переключают на предел измерений 1 В (B_1 в положение *×0,1 В*, B_2 — «*10*»). Подбирая резистор R_2, снова устанавливают стрелку микроамперметра на среднюю отметку шкалы. Наконец, не изменяя положения переключателя B_1, переводят переключатель B_2 в положение *50* (предел 5 В) и, используя в качестве управляемого делителя переменный резистор сопротивлением 1—2 кОм, устанавливают входное напряжение 5 В (его контролируют каким-либо образцовым вольтметром, в крайнем случае авометром, переключенным в режим измерения переменных напряжений). Стрелку микроамперметра еще раз смещают на конечную отметку шкалы, но теперь уже подбором резистора R_{12} (грубо) и изменением сопротивления подстроечного резистора R_{13} (точно). На этом налаживание заканчивается, и прибор готов к работе.

При использовании в основном блоке комплекса микроамперметра с другими параметрами, чем в описываемом устройстве, сопротивление резистора R_{21} необходимо изменить так, чтобы полный ток в диагонали моста $Д_1$—$Д_4$ при отклонении стрелки до конечной отметки шкалы был примерно равен 0,5 мА.

ИЗМЕРИТЕЛЬ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

Важным параметром любого усилителя звуковой частоты является, как известно, коэффициент гармоник, равный выраженному в процентах отношению напряжения гармонических составляющих сигнала, прошедшего через усилитель, к напряжению его первой гармоники.

Для оценки качества усилителей часто используют осциллограф, наблюдая на его экране искажения формы синусоидального сигнала, прошедшего через усилитель. Однако этот метод непригоден для контроля параметров высококачественных устройств: глаз замечает искажения формы сигнала, если коэффициент гармоник более 3—5%, а у современного усилителя он должен быть не более 0,2—0,3%. Измерить такие нелинейные искажения можно только специальным прибором — измерителем нелинейных искажений.

Описываемый здесь сменный блок (рис. 53) представляет собой, по существу, приставку к милливольтметру переменного тока. Вместе с ним и источником сигнала—генератором сигналов звуковой частоты — этот блок-приставка образует комплект приборов для измерения коэффициента гармоник различных низкочастотных устройств.

Измеритель нелинейных искажений (далее просто измеритель) выполнен на шести транзисторах. Измерения производят на четырех частотах звукового диапазона: 333 Гц, 1, 8 и 12 кГц. Предусмотрена плавная перестройка прибора в пределах ±20% относительно этих частот. Минимальное значение коэффициента гармоник, измеряемое прибором при входном напряжении 2 В (среднее квадратическое или эффективное значение) составляет 0,15%, погрешность измерений 50%. Входное сопротивление измерителя около 5 кОм, коэффициент передачи около 1.



Рис. 53

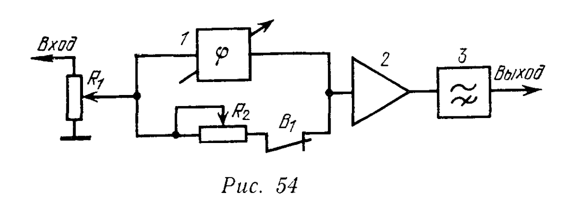


Рис. 54

Структурная схема измерителя показана на рис. 54. С выхода проверяемого устройства синусоидальный сигнал поступает на вход измерителя — регулятор уровня R_1, а с его движка — в каналы обработки. В одном из них (верхнем по схеме) он проходит через фазовращатель *1*, поворачивающий фазу на 180°, в другом — через регулятор амплитуды R_2. Таким образом, сигналы, прошедшие через фазовращатель и резистор R_2, оказываются противофазными, и если их подать на вход усилителя *2*, то они (при равенстве амплитуд) скомпенсируют друг друга. Полной компенсации добиваются переменным резистором R_2, однако возможно это только на одной определенной частоте, зависящей от параметров фазовращателя. Что же касается гармоник сигнала (напомним, что так называют его составляющие, частоты которых в два, три, четыре и т. д. раз больше частоты сигнала), то они, пройдя через фазовращатель, получают сдвиг фазы, отличающийся на 180° и, естественно, не будут скомпенсированы сигналом второго канала. Иначе говоря, на выходе усилителя *2* возникает некоторое переменное напряжение, представляющее собой суммарное напряжение гармоник входного сигнала. Измерив его и напряжение первой гармоники (делают это при разомкнутых контактах выключателя B_1)*, уже нетрудно определить коэффициент гармоник $K_г = (U_г/U_1)$.

Усилитель компенсирует потери сигнала в фазовращателе, позволяя получить (в верхнем по схеме положении движка резистора R_1) коэффициент передачи всего устройства, равный 1.

---

* Правда, при этом измеряется не напряжение первой гармоники, а напряжение полного сигнала. Однако, если коэффициент гармоник не превышает 10%, вклад гармонических составляющих сравнительно невелик, и точность определения этого параметра страдает незначительно.

Суммарное напряжение гармоник на выходе усилителя *2* может составлять всего несколько милливольт, поэтому очень важно, чтобы в нем не оказалось составляющих, вызванных наводками с частотой сети переменного тока на цепи измерителя и испытуемого устройства, а также составляющих, вызванных недостаточной фильтрацией напряжения питания. Чтобы исключить влияние этих составляющих на точность измерений, сигнал с выхода усилителя *2* подается на вход милливольтметра не непосредственно, а через фильтр верхних частот (ФВЧ) *3*, не пропускающий составляющих, частота которых ниже 200 Гц.

Принципиальная схема измерителя показана на рис. 55. Входной сигнал

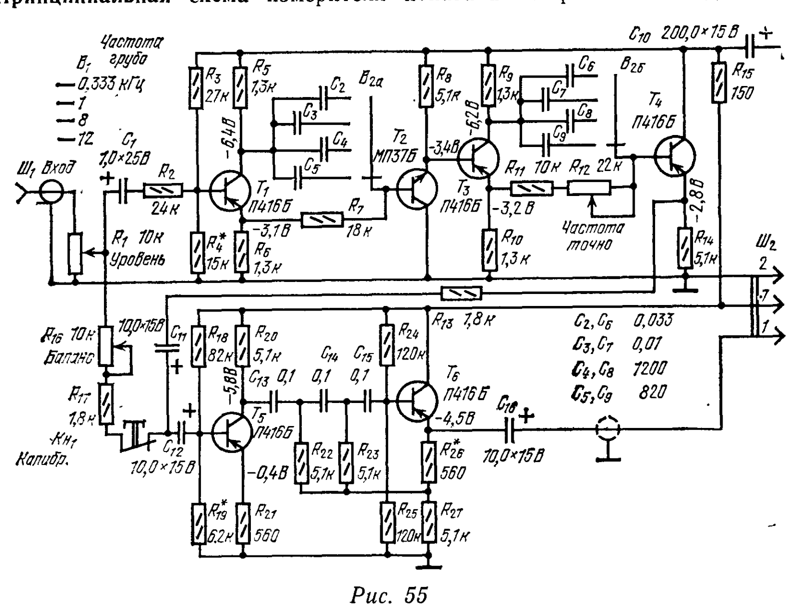


Рис. 55

через разъем $Ш_1$ поступает на регулятор уровня — переменный резистор R_1, а с его движка через развязывающий резистор R_2 в фазовращатель, выполненный на транзисторах T_1—T_4. Требуемый сдвиг фазы (180°) создают каскады на транзисторах T_1 и T_3, на остальных (T_2 и T_4) выполнены эмиттерные повторители, обеспечивающие необходимую для нормальной работы устройства развязку между каскадами. Частоты, на которых сдвиг фазы сигнала составляет 180°, определяется емкостью конденсаторов C_2—C_5, C_6—C_9 и сопротивлением резисторов R_7, R_{11} и R_{12}. Грубая перестройка фазовращателя по частоте производится сменой этих конденсаторов переключателем B_1, а точная настройка на указанные выше значения частот — переменным резистором R_{12}.

Особенностью фазовращателя является непосредственная (гальваническая) связь между всеми его каскадами. Высокая температурная стабильность достигнута использованием глубоких ООС по постоянному току и применением транзисторов разной структуры. Последнее, в частности, обеспечивает взаимную компенсацию температурного дрейфа первых двух каскадов фазовращателя. Режим работы всех транзисторов этого узла определяется делителем напряжения (R_3, R_4) в цепи базы транзистора T_1.

С выхода фазовращателя через развязывающий резистор R_{13} сигнал поступает на базу транзистора T_5. Сюда же через резисторы R_{16}, R_{17} и замкнутые контакты кнопки $Кн_1$ поступает входной сигнал с движка переменного резистора R_1. Этот каскад измерителя — обычный усилитель с коэффициентом усиления около 5. Единственное требование к нему заключается в том, чтобы обеспечить максимальную амплитуду неискаженного выходного сигнала: именно этот его параметр вместе с предельной чувствительностью милливольтметра переменного тока определяют наименьший коэффициент гармоник, который можно из-

мерить прибором. При напряжении питания около 8 В трудно получить на выходе усилителя двойную амплитуду сигнала более 6 В (соответствует среднему квадратическому значению примерно 2 В). Отсюда (с учетом максимальной чувствительности милливольтметра переменного тока 3 мВ) минимальный коэффициент гармоник, который можно измерить, составляет 0,15% $\left(K_{\text{г}} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{2}\right)$. Если же исследуемый сигнал окажется меньше 2 В, то нижний предел измерений, естественно, увеличится. Увеличить чувствительность прибора в 2—3 раза можно, уменьшив во столько же раз сопротивление резистора R_{21}.

Усиленное транзистором T_5 напряжение гармоник исследуемого сигнала поступает в активный ФВЧ, выполненный на транзисторе T_6. Частота среза ФВЧ (примерно 200 Гц) определяется, в первую очередь, сопротивлением резисторов R_{22}, R_{23} и емкостью конденсаторов C_{14}, C_{15}. Крутизна спада АЧХ — примерно 15 дБ на октаву (составляющие частотой 100 Гц ослабляются фильтром на 15 дБ, а частотой 50 Гц — на 30 дБ), что в большинстве случаев вполне достаточно.

С выхода ФВЧ переменное напряжение поступает через контакт *1* разъема $Ш_2$ на вход милливольтметра переменного тока. Через контакты *2* и *7* этого разъема, как и остальных сменных блоках комплекса, подается напряжение питания.

Необходимо отметить, что прибор нетрудно приспособить и для измерения коэффициента гармоник во всем диапазоне частот. Для этого достаточно, например, резисторы R_7 и R_{12} заменить сдвоенным переменным резистором сопротивлением 15—22 кОм, уменьшив одновременно сопротивление резистора R_{11} до 1 кОм и включив постоянный резистор такого же сопротивления последовательно с переменным, выполняющим функции резистора R_7. Этой же цели можно добиться и одинарным переменным резистором R_{12}, уменьшив сопротивление резистора R_{11} до 150 Ом. Однако в этом случае частотная шкала прибора будет очень неравномерной (особенно на краях диапазона), что затруднит точную балансировку прибора (компенсацию первой гармоники). В какой-то степени этот недостаток можно устранить, включив последовательно с резистором R_7 переменный резистор сопротивлением примерно 4,7 кОм, но тогда на рабочую частоту прибор придется настраивать тре-

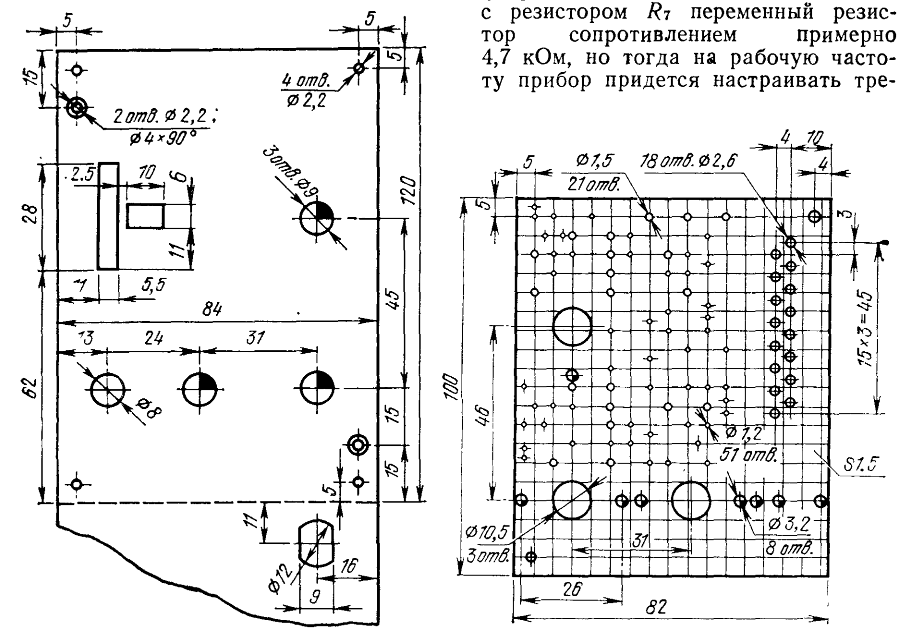


Рис. 56

Рис. 57

мя органами управления: переключателем конденсаторов, резистором R_{12} (грубо) и резистором, включенным последовательно с резистором R_7 (точно).

Конструкция и детали. Разметка передней панели измерителя показана на рис. 56. Все детали (кроме разъемов $Ш_1$ и $Ш_2$) смонтированы на плате (рис. 57), изготовленной из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм и закрепленной в корпусе так же, как и в остальных сменных блоках комплекса. Схема соединений измерителя приведена на рис. 58. Элементы, изображенные штриховыми линиями, установлены с противоположной стороны монтажной платы. Кнопка $Кн_1$ (микрокнопка КМ1-1) и переключатель $В_1$ (движковый, от транзисторного приемника «Сокол», переделанный так же, как и в генераторе сигналов высокой частоты и испытателе транзисторов, т. е. в двухполюсный на четыре положения) вставлены своими контактами в соответствующие отверстия монтажной платы и закреплены в ней соединительными проводниками, припаянными к ним. Чертеж указателя, надетого на движок переключателя $В_1$, показан на рис. 59.

В измерителе можно применить любые низко- или высокочастотные маломощные транзисторы со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21Э}$ не менее 60 (при токе эмиттера 2 мА). Транзисторы с большим коэффициентом следует использовать в качестве эмиттерных повтори-

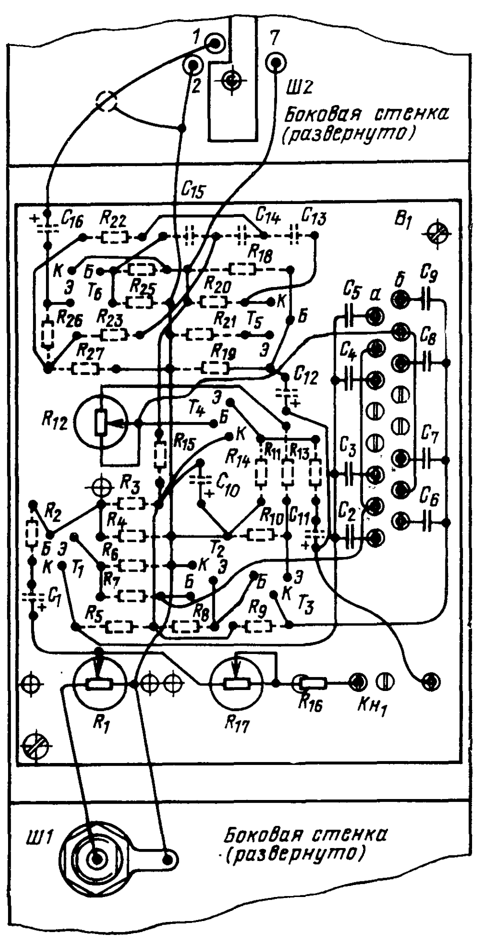


Рис. 58

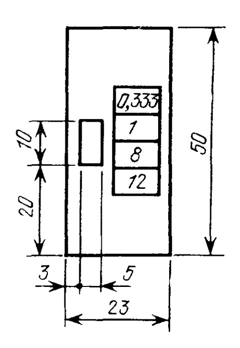


Рис. 59

телей (T_2, T_4) и в ФВЧ (T_6). Остальные детали следующих типов: конденсаторы МБМ, КМ (C_2—C_9, C_{13}—C_{15}) и К50-6 (остальные), постоянные резисторы МЛТ-0,125 (МЛТ-0,25, ВС-0,125), переменные — СП-I. Гнездо разъема $Ш_1$ и штепсельная часть разъема $Ш_2$ такие же, как и в остальных блоках комплекса.

Налаживание прибора начинают с проверки режимов транзисторов по постоянному току. При использовании транзисторов с $h_{21Э} \approx 80$ они не должны отличаться от указанных на схеме более чем на $\pm 20\%$.

Наиболее тщательно следует подобрать режим работы транзистора T_5, поскольку именно он, как уже говорилось, лимитирует нижний предел измерений

коэффициента гармоник. Лучше всего это сделать, наблюдая выходной (синусоидальный) сигнал на коллекторе этого транзистора. Подбирая резистор R_{19}, необходимо добиться того, чтобы ограничение выходного сигнала сверху и снизу наступало одновременно. Если измеритель питается от нестабилизированного источника (батареи), то требуемый режим работы транзистора необходимо установить при минимально допустимом напряжении питания $U_{пит}$. В крайнем случае можно обойтись и без осциллографа, ориентируясь на постоянное напряжение на коллекторе транзистора $U_К$, которое необходимо установить равным $U_К=(U_{пит}—1{,}6\ В)/2$.

После этого с помощью генератора сигналов звуковой частоты и милливольтметра снимают АЧХ активного ФВЧ. Сигнал с выхода генератора подают в точку соединения конденсаторов C_{11} и C_{12}. Налаживание ФВЧ сводится к подбору резистора R_{26} таким образом, чтобы коэффициент передачи фильтра на частотах 250—300 Гц стал равным примерно 1* (на частотах выше 400 Гц он равен 1). Уменьшение сопротивления резистора до нуля ведет к заметному спаду АЧХ на указанных частотах, а увеличение свыше 600 Ом, наоборот, к ее подъему.

Теперь можно попробовать измерить коэффициент гармоник генератора сигналов звуковой частоты. Для этого движки переменных резисторов R_{12} и R_{16} устанавливают в среднее (по схеме) положение, переменного резистора R_1 — в нижнее, а милливольтметр переменного тока переключают на предел измерений 2 В. На вход измерителя подают максимальное напряжение, которое может дать генератор сигналов, настраивают последний на одну из рабочих частот и устанавливают переключатель B_1 в соответствующее положение. Последовательно манипулируя регулятором уровня (R_1) и переключателем пределов измерений милливольтметра, устанавливают стрелку измерительного прибора комплекса в последней трети шкалы. Затем изменением сопротивления переменного резистора R_{12} добиваются минимума показаний прибора (первоначально он может быть сравнительно «размытым»). После этого минимальных показаний добиваются переменным резистором R_{16}, затем вновь резистором R_{12} и т. д. В процессе регулировок необходимо постоянно увеличивать чувствительность милливольтметра, следя за тем, чтобы стрелка прибора не уходила из второй половины шкалы. В конце концов должен наступить момент, когда ни одним из резисторов (R_{12} и R_{16}) уменьшить показания прибора уже не удается. Это будет означать, что измеритель сбалансирован, и можно перейти к его калибровке. Переключив милливольтметр на предел 2 В, нажимают на кнопку $Кн_1$. Перемещая движок переменного резистора R_1 и изменяя, при необходимости, чувствительность милливольтметра, устанавливают по шкале стрелочного прибора комплекса какое-либо напряжение, не превышающее 2 В (желательно точно 2 В, так как при этом полностью используются возможности прибора и упрощается расчет коэффициента гармоник). Затем кнопку $Кн_1$ возвращают в исходное положение и, подобрав нужный предел измерения милливольтметра, отсчитывают по шкале напряжение гармоник $U_г$. Коэффициент гармоник рассчитывают по приведенной выше формуле.

Так же оценивают нелинейные искажения и любого другого низкочастотного устройства. Однако при этом следует помнить, что измерить коэффициент гармоник можно только в том случае, если он намного больше коэффициента гармоники генератора сигналов $K_{г.зг}$. Вот почему, прежде чем проверять то или иное устройство, необходимо измерить коэффициент гармоник генератора. Если при проверке испытываемого устройства окажется, что измеренное значение $K_г$ близко к $K_{г.зг}$, то истинное значение $K_{г.и}$ можно приблизительно определить по формуле $K_{г.и} \approx \sqrt{K^2_г + K^2_{г.зг}}$. Однако погрешность таких измерений будет большой, и пользоваться приведенными расчетами имеет смысл только в том случае, если измеренное значение $K_г$ намного (более чем в 2—3 раза) превышает $K_{г.зг}$.

Измеритель имеет довольно «тупую» эквивалентную резонансную характеристику (зависимость ослабления входного сигнала от расстройки относитель-

---

* Естественно, при налаживании ФВЧ необходимо учитывать коэффициент усиления каскада на транзисторе T_5 и нормировать выходной сигнал фильтра на его значение на частотах 400—1000 Гц.

но частоты максимального его подавления)*. Такова плата за простоту прибора, ведь он практически не нуждается в налаживании. Однако именно это и обусловливает во многом сравнительно большую погрешность измерений, достигающую 50%.

Дело в том, что в описываемом измерителе подавляется не только первая гармоника, ослабляются и вторая (на 30—40%) и третья (на 10—20%). В результате возникает систематическая погрешность — некоторое занижение напряжения гармоник и, как следствие этого, заниженное значение коэффициента гармоник. Эту ошибку в измерениях можно учесть (и тем самым на 10—15% уменьшить общую погрешность измерений), сняв резонансные характеристики прибора и вычислив соответствующие поправочные коэффициенты (в зависимости от рабочей частоты они могут быть в пределах 1,3—1,6).

При проверке УНЧ коэффициент гармоник обычно измеряют на нагрузке усилителя мощности, выходное сопротивление которого не превышает, как правило, единиц ом. Описываемый измеритель в полной мере подходит для таких измерений, так как обладает относительно невысоким входным сопротивлением. Если же предполагается использовать его и для измерения коэффициента гармоник устройств с большим выходным сопротивлением, то в него необходимо ввести еще один (входной) эмиттерный повторитель.

Работая с комплексом, целесообразно держать измеритель постоянно подключенным к милливольтметру переменного тока, поскольку ФВЧ измерителя позволяет в этом случае измерять малые напряжения частотой до 200 Гц на фоне наводок сети переменного тока. Кроме того, если увеличить коэффициент передачи измерителя до 2—3 (что, как говорилось, нетрудно сделать подбором резистора R_{21}), то это позволит во столько же раз расширить предел измерений милливольтметра в сторону малых напряжений.

ИЗМЕРИТЕЛЬ *RCL*

Как говорит само название, этот прибор (рис. 60) предназначен для измерения основных параметров резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности. Основой прибора является универсальный измерительный мост переменного тока — так называемый реохордный мост. С помощью такого моста можно измерить параметры указанных элементов с погрешностью 5—10%, что вполне достаточно для любительских целей. Кроме того, реохордный мост даже при использовании переменного резистора обычного типа (например, СП) позволяет без особого труда получить перекрытие по измеряемому параметру не менее 10.

Упрощенная схема реохордного моста для измерения сопротивлений пока-



Рис. 60

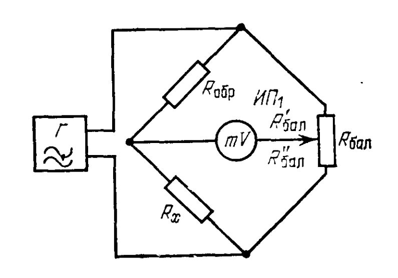


Рис. 61

* Бо́льшую эквивалентную добротность характеристики можно получить в регенеративных устройствах, но они сложнее не только в налаживании, но и в эксплуатации и к тому же нестабильны во времени.

зана на рис. 61. Как видно из схемы, два плеча моста образованы образцовым резистором $R_{обр}$ и измеряемым резистором R_x, два других — частями $R'_{бал}$ и $R''_{бал}$ переменного резистора $R_{бал}$. Одна из диагоналей моста подключена к генератору НЧ, другая — к милливольтметру $ИП_1$. Перемещением движка резистора (иначе говоря, изменением соотношения сопротивлений $R'_{бал}$ и $R''_{бал}$) балансируют мост, добиваясь отсутствия (или минимума) переменного напряжения между движком и точкой соединения резисторов $R_{обр}$ и R_x. Измеряемое сопротивление определяют при уравновешенном мосте как произведение отсчитанного по шкале реохорда отношения $R''_{бал}/R'_{бал}$ и сопротивления резистора $R_{обр}$.

При измерении индуктивностей вместо образцового резистора включают образцовую катушку индуктивности, а при измерении емкости — образцовый конденсатор. Чтобы при всех измерениях можно было пользоваться одной и той же шкалой отношений $R''_{бал}/R'_{бал}$, образцовый конденсатор включают не в верхнее (по схеме), а в нижнее плечо моста (вместо R_x).

Измеритель RCL комплекса позволяет определить сопротивление резисторов от 30 Ом до 300 кОм, емкость конденсаторов от 30 пФ до 0,3 мкФ и индуктивность катушек от 30 мкГн до 0,3 Гн. Измерения производят на переменном токе частотой 1 кГц, вырабатываемом входящим в комплекс генератором сигналов звуковой частоты.

Принципиальная схема прибора показана на рис. 62. В состав реохордного моста входят резисторы R_5—R_7 и наборы образцовых элементов: резисторы R_8—R_{11}, конденсаторы C_4—C_7 и катушки L_1—L_4. Балансируют мост переменным

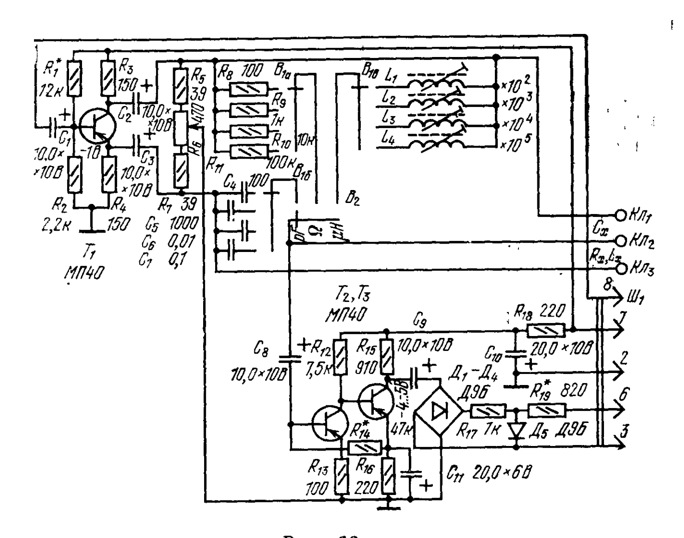


Рис. 62

резистором R_6, снабженным линейной шкалой, по которой отсчитывают отношения сопротивлений его частей, образующих плечи моста. Резисторы R_5 и R_7 ограничивают пределы измерений, обеспечивая своего рода растяжку шкалы, облегчающую отсчет измеряемого параметра. Переход от одного вида измерений к другому производится переключением B_2, выбор элементов внутри каждой группы образцовых элементов (т. е. выбор предела измерений) — переключателем B_1. Измеряемые резисторы и катушки индуктивности подключают к зажимам $Кл_2$ и $Кл_3$, а конденсаторы — к зажимам $Кл_1$ и $Кл_2$.

Напряжение звуковой частоты подается в одну из диагоналей моста с контакта 8 разъема $Ш_1$ через фазоинвертор, собранный на транзисторе T_1. Применение этого каскада позволило упростить измеритель, обойтись без традиционного в подобных устройствах низкочастотного трансформатора. В другую диагональ моста включен милливольтметр переменного тока, используемый в

данном случае как нуль-индикатор (по минимуму его показаний судят о балансе моста). Милливольтметр состоит из двухкаскадного усилителя переменного тока на транзисторах T_2, T_3 и мостового выпрямителя на диодах $Д_1$—$Д_4$. В качестве индикатора используется микроамперметр основного блока, подключаемый к измерителю через контакты *3* и *6* разъема $Ш_1$. Диод $Д_5$ ограничивает ток через микроамперметр при большом разбалансе моста. Питается милливольтметр от встроенной батареи комплекса через простейший развязывающий фильтр, состоящий из резистора R_{18} и конденсатора C_{10}.

Конструкция и детали. Измеритель *RCL* собран в однотипном со всеми остальными сменными блоками корпусе. Разметка его передней части панели показана на рис. 63. В этом блоке можно использовать низкочастотные германиевые транзисторы серий МП39—МП42 со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21Э} \geqslant 30$ (измеренным при токе эмиттера 1 мА). Диоды любые германиевые из серий Д2 или Д9.

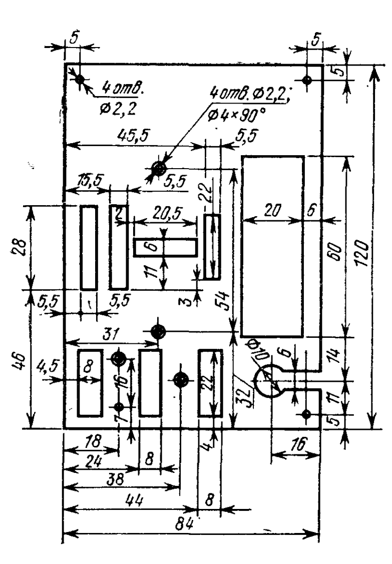


Рис. 63

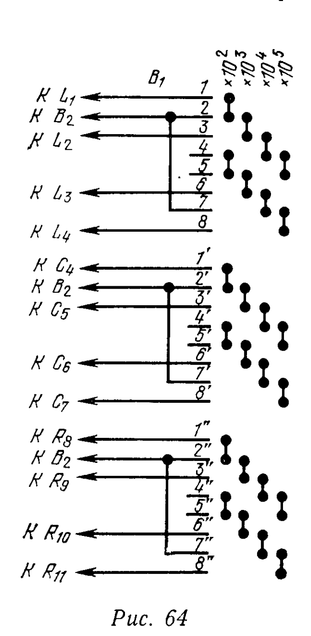


Рис. 64

Переключатели B_1 и B_2 движковые, от транзисторного приемника «Сокол». Первый из них составлен из двух переключателей, у которых удалены крайние неподвижные контакты (по одному в каждом ряду) и по два подвижных, причем оставшиеся контакты переставлены так, чтобы схема коммутации соответствовала показанной на рис. 64. В единое целое переключатели объединены гетинаксовой (можно использовать текстолит, эбонит и т. п.) планкой *2* (рис. 65), которую при окончательной сборке закрепляют на движках переключателей двумя винтами *3* (М2×6), ввинчиваемыми в резьбовые отверстия в ручках *1*.

Схема коммутации переключателя B_2 такая же, как и у каждого из переключателей, входящих в состав B_1, но из четырех положений в нем использованы только три. Как и в остальных приборах, на движки переключателей надеты бумажные указатели (рис. 66).

Остальные детали следующих типов: постоянные резисторы **МЛТ-0,125** (МЛТ-0,25, ВС-0,25 и т. п.), конденсаторы КСО-2 (C_4, C_5), К71-4 (C_6, C_7), К50-6 (остальные). В качестве образцовых применены резисторы и конденсаторы с допустимым отклонением от номинала $\pm 5\%$. Конечно, если есть возможность, эти детали желательно подобрать более точно (с меньшим допуском), но и при использовании деталей с указанным допуском погрешность измерений будет достаточной для любительских целей.

В качестве реохорда применен переменный резистор СП-I группы А. На его оси с помощью установочного винта М3×6 закреплен шкив *2* (рис. 67) из органического стекла. Шкив *7* (отличается только диаметром отверстия, который равен 3 мм) свободно вращается на оси *6*, закрепленной на монтажной плате *10* двумя гайками *9* (М3). Чтобы оба шкива находились на одном расстоянии от платы, между шкивом *7* и гайкой на ось надета дюралюминиевая

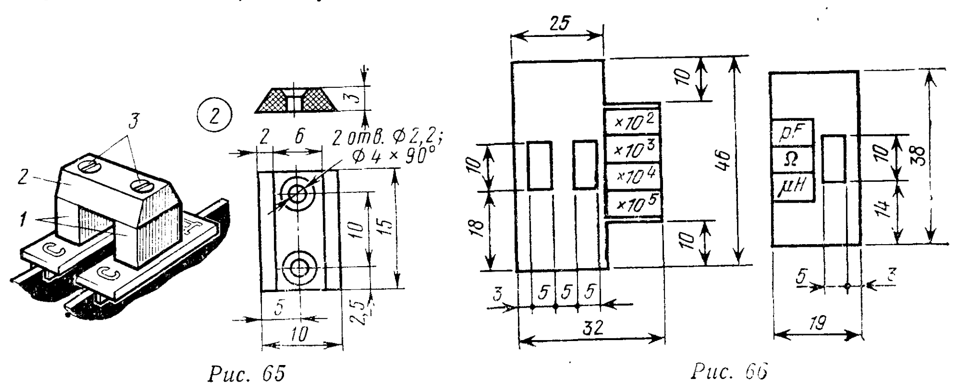


Рис. 65 *Рис. 66*

втулка *8*. Тросик *5*, охватывающий оба шкива,— капроновая жила диаметром 0,4 мм. Необходимое натяжение создано при завязывании узла (так же, как и в генераторе сигналов звуковой частоты). Для устранения проскальзывания тросик охватывает шкив *2* двумя оборотами. На левой его ветви (по рис. 67) закреплена стрелка-указатель *3*, согнутая из стальной проволоки диаметром 0,5 мм. Шкала измерителя наклеена на кронштейн *4*. Он согнут из полоски листового алюминиевого сплава АМц-П толщиной 1 мм и закреплен на монтажной плате гайкой переменного резистора *1*.

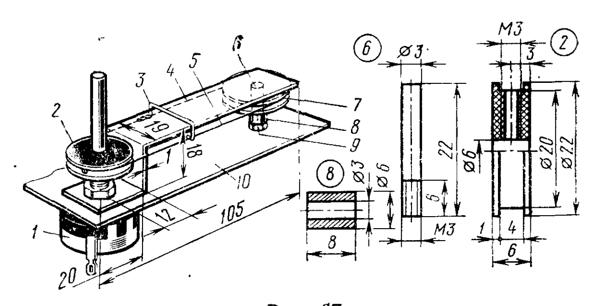


Рис. 67

Катушки измерителя намотаны на стандартных трехсекционных каркасах и помещены в броневые сердечники из карбонильного железа: L_1 и L_2 — в СБ-12а (индуктивность соответственно 0,1 и 1 мГн), L_3 и L_4 — в СБ-23-17а (10 и 100 мГн). Катушки L_1 (70 витков) и L_2 (210 витков) намотаны соответственно проводом ПЭВ-10,2 и ПЭЛ0,15, L_3 (500 витков) — проводом ЛЭ5×0,06 (можно использовать ПЭВ-1 0,18), L_4 (1560 витков) — проводом ПЭВ-1 0,1.

До установки катушек их индуктивность необходимо подогнать (с помощью подстроечных сердечников — подстроечников) до значений, указанных выше. Проще всего это сделать, воспользовавшись заводским измерителем индуктивности (например, типа Е7-2А, Е7-3) или добротности (Е9-3). Если же таких приборов нет, подгонку индуктивности можно осуществлять с помощью входящих в комплекс генератора сигналов звуковой частоты и милливольтметра переменного тока. Напряжение с выхода генератора через резистор сопротивле-

нием 1—2 кОм подают на параллельный колебательный контур, составленный из настраиваемой катушки и конденсатора с допускаемым отклонением от номинала ±5% (о его емкости будет сказано ниже). Ступенчатый аттенюатор генератора устанавливают в положение *1 : 1*, а ручку регулятора амплитуд выходного напряжения — в среднее положение.

Индуктивность катушек L_1 и L_2 подгоняют при емкости конденсатора, равной 1 мкФ (типа МБМ). Для индуктивности 100 мкГн (L_1) частота настройки контура должна быть близкой к 16 кГц, для 1 мГн (L_2) — 5 кГц. На этой же частоте (5 кГц) настраивают остальные катушки, но емкость конденсаторов каждый раз уменьшают на порядок (для L_3 она должна быть равна 0,1 мкФ, а для L_4 — 0,01 мкФ).

Практически индуктивность катушек подгоняют так. Подключив к выходу генератора катушку и конденсатор указанной выше емкости, изменяют частоту подаваемого на контур напряжения, добиваясь максимального отклонения стрелки милливольтметра. Если частота, соответствующая этому отклонению, больше указанной, индуктивность катушки необходимо увеличить (ввинчиванием подстроечника), а если контур резонирует на более низкой частоте, уменьшить (вывинчиванием подстроечника или даже заменой его латунным винтом с нужной резьбой).

Зажимы $Кл_1$ — $Кл_3$ для подключения резисторов, конденсаторов и катушек, параметры которых необходимо измерить, изготовлены из листовой бронзы (можно использовать и твердую латунь) толщиной 0,5 мм. Каждый из них состоит из двух частей — *3* и *4* (см. рис. 68). На изоляционной панели *1* (гетинакс, текстолит толщиной 1,5 мм) зажимы закрепляют медными заклепками *2*. Одно из резьбовых отверстий в панели предназначено для крепления к передней стенке корпуса измерителя, другое — для крепления прозрачной накладки.

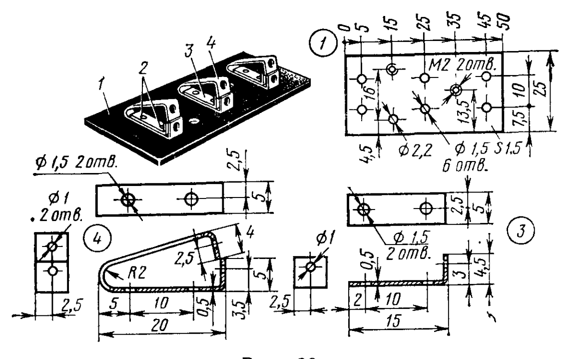


Рис. 68

Детали измерителя (кроме панели с зажимами $Кл_1$—$Кл_3$ и разъема $Ш_1$ — октального цоколя от радиолампы) смонтированы на плате (рис. 69) из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. В корпусе плата закреплена так же, как и платы остальных блоков комплекса.

Схема соединений деталей измерителя показана на рис. 70. Все детали, кроме катушек L_1—L_3, резисторов R_5, R_7 — R_{11} и конденсаторов C_1, C_4 — C_7, установлены с противоположной (по рисунку) стороны платы (на схеме соединений изображены штриховыми линиями). Переключатели B_1 и B_2 вставлены с той же стороны и удерживаются на плате пайкой контактов к соединительным проводам. Для соединений с разъемом $Ш_1$ и зажимами $Кл_1$ — $Кл_3$ использован провод МГШВ сечением 0,14 мм². Катушки L_1 — L_4 приклеены к плате эпоксидным клеем (можно использовать и клей БФ-2).

Налаживание измерителя начинают с проверки режимов работы транзисторов по постоянному току. Если они отличаются от указанных на схеме, то необходимо подобрать резисторы R_1 и R_{14}. Дальнейшее налаживание при подобранных заранее элементах измерительного моста сводится к градуировке шкалы на одном из пределов измерений.

Проще всего отградуировать шкалу с помощью магазина сопротивлений, но можно воспользоваться и набором резисторов с допускаемым отклонением от номинала ее более ±5%. Например, для градуировки предела 300 Ом — 3 кОм можно взять резисторы сопротивлением 100 Ом (4 шт.), 300 Ом (3 шт.) и 1 кОм (2 шт.). Требуемые сопротивления получают, соединяя резисторы последовательно и параллельно. Установив частоту генератора сигналов равной

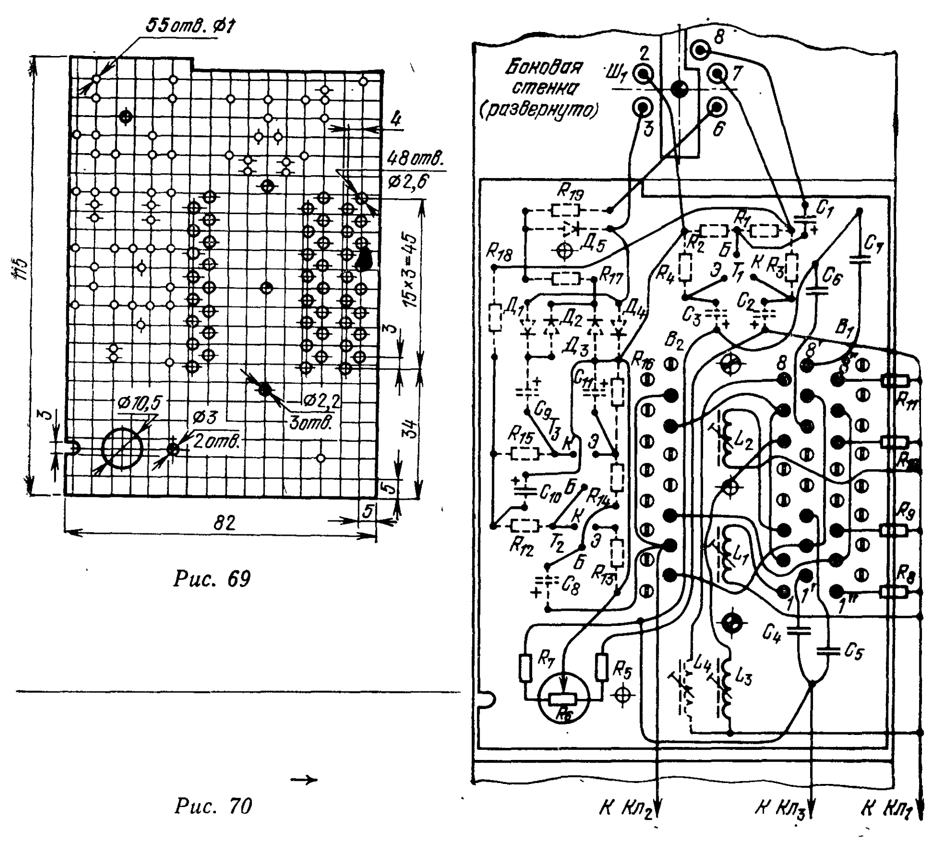


Рис. 69

Рис. 70

1 кГц (аттенюатор в любом положении, а ручка регулятора амплитуды в положении, соответствующем минимуму сигнала на выходе), подключают к зажимам $Кл_2$ и $Кл_3$ резисторы разных сопротивлений и, добиваясь каждый раз баланса измерительного моста (т. е. минимальных показаний микроамперметра основного блока), наносят на шкалу соответствующие отметки в относительных величинах: от 0,3 до 1 — через каждые 0,05, от 1 до 2 — через 0,1, а от 2 до 3 — через 0,5. Полученную таким образом шкалу используют для всех видов измерений и на всех пределах.

В последнюю очередь подбирают резистор R_{19} так, чтобы при самом большом разбалансе стрелка микроамперметра не уходила за пределы шкалы.

При работе с прибором следует помнить, что из-за сравнительно небольшого входного сопротивления милливольтметра измерителя *RCL* на некоторых пределах измерений емкости (30—300 пФ) и индуктивности (30—300 мкГн) отклонение стрелки микроамперметра при разбалансе может оказаться небольшим, что затруднит отсчет измеряемой величины. В связи с этим на указанных пределах измерений частоту генератора желательно изменять: при измерении емкости увеличивать до 10 кГц, а при измерении индуктивности уменьшить до 100 Гц

[У]НИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРОБНИК

Этот сменный блок измерительного комплекса (рис. 71) существенно отличается от приборов, описанных выше. Объединение в одном корпусе нескольких измерительных узлов позволило создать простой, но многофункциональный прибор, с помощью которого можно измерить частоту электрических колебаний до 30 МГц, быстро найти неисправность в радиоприемнике, магнитофоне, УНЧ и т. д.

В диапазоне 10 Гц — 100 кГц измеряемая частота отсчитывается непосредственно по линейной шкале микроамперметра основного блока. Этот диапазон частот разбит на четыре поддиапазона: 10—100 Гц, 100—1000 Гц, 1—10 кГц и 10—100 кГц. Минимальная амплитуда входного сигнала при непосредственном измерении частоты составляет 3 мВ. Измерение частоты от 100 кГц до 30 МГц производится методом нулевых биений. Сигнал неизвестной частоты в этом случае смешивается с сигналом вспомогательного (образцового) генератора, а в качестве индикатора нулевых биений используют либо головные телефоны, либо частотомер пробника. При амплитуде сигнала образцового генератора около 0,2 В можно измерить частоту сигналов амплитудой в несколько десятков микровольт.



Рис. 71

Встроенным частотомером можно измерить и разность частот (до 10 кГц) двух сигналов в диапазоне частот 100 кГц — 30 МГц. При этом амплитуда одного из сигналов должна быть не менее 20—30 мВ, другого — не менее 0,2 В. При калибровке по методу, описанному здесь, погрешность измерения частот звукового диапазона не превышает ±10%. Погрешность измерений методом биений зависит в основном от погрешности образцового генератора сигналов.

Пробником можно обнаружить сигналы звуковой частоты амплитудой около 10 мкВ, а с помощью выносной детекторной головки — АМ колебания ВЧ амплитудой около 1 мВ. При амплитуде ВЧ сигнала более 20 мВ частотомером пробника можно измерить частоту модуляции. Более подробно о работе с универсальным пробником будет рассказано ниже.

Принципиальная схема пробника показана на рис. 72. Как видно из схемы, он состоит из собственно пробника (рис. 72,*а*), низкочастотного щупа (**рис.**

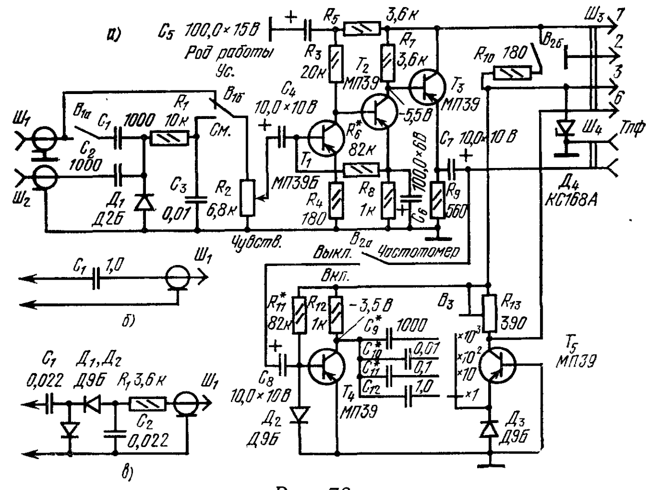


Рис. 72

72,*б*) и детекторной головки (рис. 72,*в*). В свою очередь сам пробник состоит из УНЧ, частотомера и смесителя. Усилитель низкой частоты — трехкаскадный, на транзисторах T_1—T_3. Он используется во всех режимах работы. Его первые два каскада (T_1, T_2) выполнены по схеме с гальванической связью (такие же каскады использованы в генераторе сигналов звуковой частоты и милливольтметре переменного тока). Третий каскад — эмиттерный повторитель на транзисторе T_3. Он необходим для согласования относительно высокого выходного сопротивления усилителя на транзисторах T_1, T_2 с низкоомным входом частотомера, выполненного на транзисторах T_4, T_5.

При проверке низкочастотных трактов сигнал подают на разъем $Ш_1$. Через контакты переключателя B_1, который в этом случае должен быть установлен в положение *Ус.* (усилитель), он поступает на переменный резистор R_2 *Чувств.* (чувствительность) — регулятор уровня сигнала, подаваемого на вход УНЧ. К исследуемому устройству пробник подключают через кабель с низкочастотным щупом, содержащим разделительный конденсатор C_1 (рис. 72,*б*).

Для проверки высокочастотных АМ трактов используют выносную детекторную головку, подключаемую к разъему $Ш_1$ при том же положении переключателя B_1. Как видно из рис. 72,*в*, этот узел пробника представляет собой детектор, выполненный по схеме удвоения напряжения на диодах $Д_1$, $Д_2$, с фильтрующим (C_2) и разделительным (C_1) конденсаторами.

При измерении частоты методом биений переключатель B_1 переводят в положение *См.* (смеситель). В результате его секция $B_{1а}$ соединяет вход УНЧ пробника со смесителем, выполненным на диоде $Д_1$, а секция $B_{1б}$ — вход смесителя с разъемом $Ш_1$. На один из разъемов ($Ш_1$ или $Ш_2$) подают сигнал от образцового генератора, на другой — исследуемый сигнал. Напряжение разностной частоты, возникающее в результате смешения на диоде $Д_1$, проходит через фильтр нижних частот R_1C_3, который пропускает сигналы частотой до 10 кГц. Индикатором при исследовании ВЧ и НЧ устройств, а также при измерении частоты методом биений служат высокоомные или низкоомные (последние предпочтительнее) телефоны, подключаемые к разъему $Ш_4$, (*Тлф*).

Частотомер включается выключателем B_2. Одна из его секций ($B_{2а}$) соединяет вход частотомера с выходом УНЧ, другая — ($B_{2б}$) замыкает цепь питания. Первый каскад этого устройства — усилитель-ограничитель на транзисторе T_4. Он формирует из синусоидального сигнала симметричные прямоугольные импульсы со скважностью 2 (меандр). Диод $Д_2$ предохраняет эмиттерный переход транзистора T_4 от пробоя положительной полуволновой входного сигнала большого уровня.

В течение положительной полуволны входного сигнала транзистор T_4 закрыт и один из образцовых конденсаторов C_9—C_{12} (в зависимости от выбранного переключателем B_3 поддиапазона измерений) заряжается почти до напряжения источника питания через резистор R_{12} и диод $Д_3$. При изменении полярности входного напряжения транзистор T_4 открывается, напряжение на его коллекторе уменьшается почти до нуля (точнее, до напряжения насыщения открытого транзистора, примерно равного 0,1 В) и заряженный к этому времени конденсатор быстро разряжается через участок эмиттер — коллектор транзистора T_4 и эмиттерный переход транзистора T_5. В коллекторной цепи транзистора T_5 возникает импульс тока, длительность которого зависит, в первую очередь, от емкости образцового конденсатора. Микроамперметр основного блока, включенный в коллекторную цепь этого транзистора через контакты *3* и *6* разъема $Ш_3$, регистрирует средний ток в цепи. Этот ток оказывается пропорциональным частоте входного сигнала, если образцовый конденсатор успевает полностью разрядиться до следующей смены полярности входного сигнала (до начала следующего цикла заряда), а форма напряжения на выходе транзистора T_4 не зависит от уровня и частоты входного сигнала. Первое из этих условий легко выполнимо при соответствующем подборе конденсатора. Для облегчения же постоянства формы сигнала на коллекторе транзистора T_4 амплитуда исследуемого напряжения на входном разъеме $Ш_1$ при максимальной чувствительности (движок переменного резистора R_2 в верхнем по схеме положении) должна быть в пределах от 2—3 до 100—150 мВ. Это необходимо иметь в виду при работе с пробником: если показания микроамперметра не изменяются при регулировке чувствительности пробника, то отсчитанное по шкале значение

частоты правильно. Калибровка частотомера производится подстроечным резистором R_{13}.

Средний ток через транзистор T_5 зависит от напряжения, до которого заряжается образцовый конденсатор, т. е. от напряжения питания частотомера. Для уменьшения погрешности измерений, вызванной этой причиной, питание частотомера осуществляется стабилизированным напряжением, снимаемым со стабилитрона $Д_4$.

Конструкция и детали. Разметка передней и одной из боковых (той, на которой установлены гнезда разъемов $Ш_1$, $Ш_2$, $Ш_4$) стенок пробника показана на рис. 73.

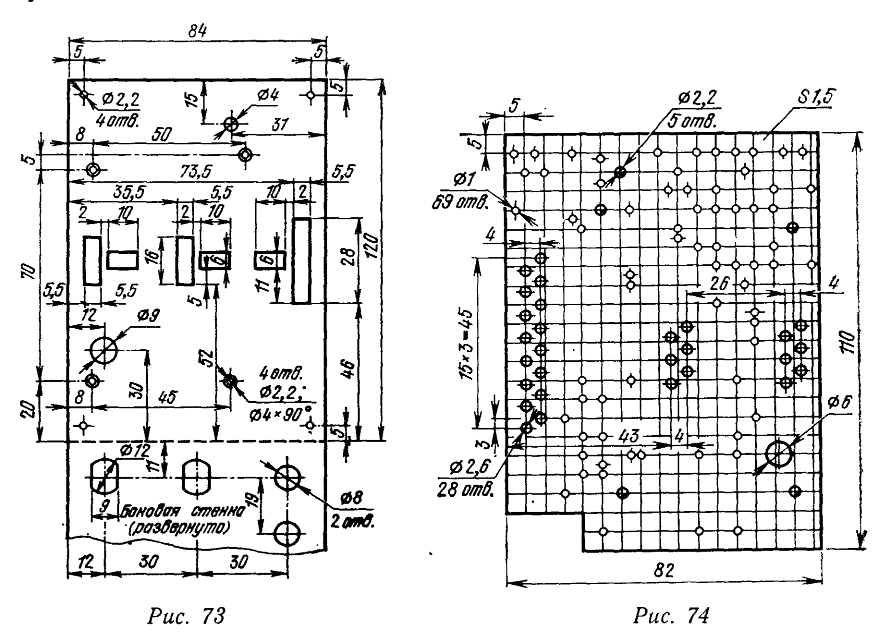


Рис. 73

Рис. 74

В этом сменном блоке комплекса можно использовать любые транзисторы серий МП39—МП42 со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21Э} \geqslant 30$, однако в первом каскаде УНЧ (T_1) желательно применить малошумящий транзистор МП39Б, а во втором каскаде частотомера (T_5) — транзистор с возможно меньшим обратным током коллектора. Диоды $Д_1$—$Д_3$ пробника и $Д_1$, $Д_2$ детекторной головки — любые германиевые из серий $Д_2$ или $Д_9$. Остальные детали следующих типов: резисторы R_2 и R_{13} — СП-0,5, постоянные резисторы — МЛТ-0,125 (МЛТ-0,25, ВС-0,125), конденсатор C_1, C_2, C_9 — КСО-2; C_3, C_{10} — БМ-2; C_{11}, C_{12} и C_1 (в щупе) — МБМ; C_4 — C_8 — К50-6; C_1, C_2 (в детекторной головке) — КЛС. Разъемы $Ш_1$, $Ш_2$ — любые высокочастотные (в том числе и от телевизоров), $Ш_3$ — цоколь радиолампы октальной серии, $Ш_4$ — обычные телефонные гнезда.

Переключатели B_1—B_3 движковые. Один из них (B_3) переделан в двухполюсный на четыре положения, два других — в двухполюсные на два положения. Как и в испытателе транзисторов, доработка переключателя B_3 пределов измерений частотомера сводится к удалению двух крайних неподвижных контактов (по одному в каждом ряду) и двух подвижных контактов-перемычек, а также к перестановке оставшихся, чтобы стало возможным переключать четыре цепи. Для экономии места на плате пластмассовые корпуса переключателей B_1 и B_2 укорочены наполовину (точнее разрезаны пополам), а в каждом ряду оставлено по три неподвижных контакта. Соответственно укорочены и движки этих переключателей, в которых оставлено по два подвижных контакта-перемычки.

Все детали универсального пробника, кроме разъемов $Ш_1$—$Ш_4$, смонтированы на плате (рис. 74), изготовленной из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Большинство из них (рис. 75) соединены друг с другом непосредственно своими выводами. Остальные соединения на плате выполнены луженым проводом диаметром 0,5 мм, а с разъемами — монтажным гибким проводом МГШВ сечением 0,14 мм². Все детали, кроме переменного резистора R_2, установлены с противоположной (по рис. 75) стороны платы.

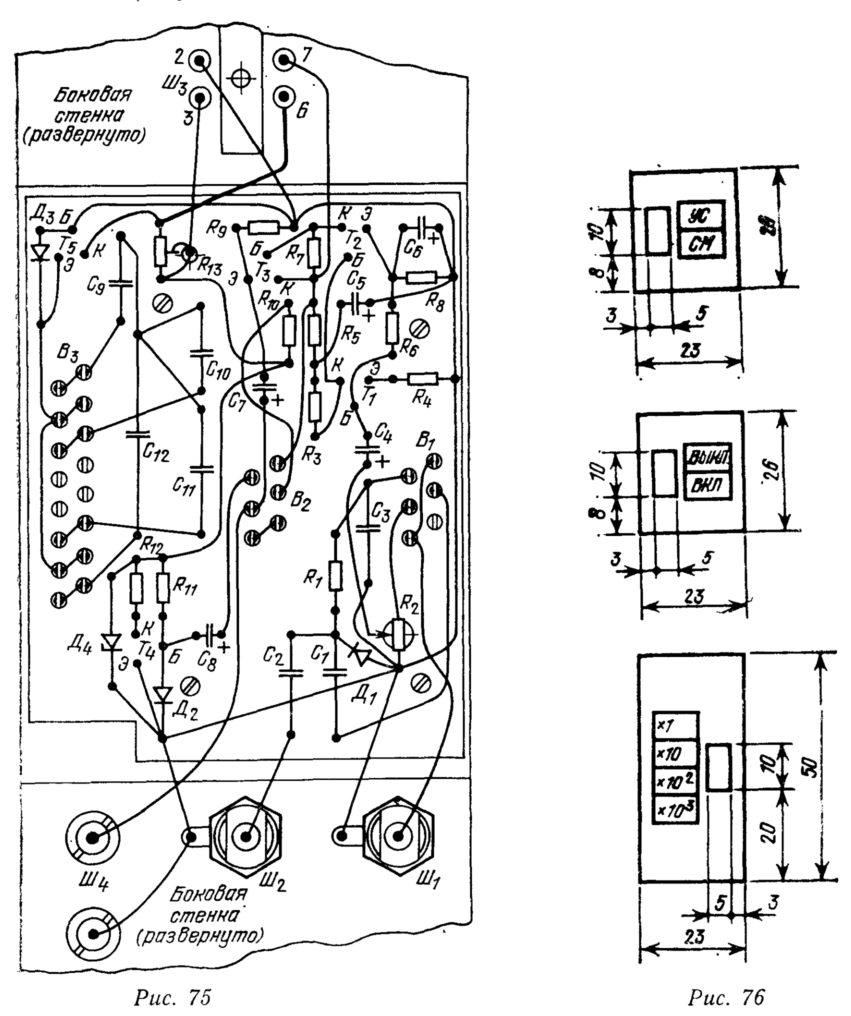


Рис. 75

Рис. 76

Переключатели вставлены контактами в отверстия диаметром 2,6 мм. Для большей прочности крепления к плате неподвижные контакты обоих направлений переключателей $В_1$ и $В_2$ при монтаже соединены параллельно. На движки всех переключателей надеты указатели положений, чертежи которых приведены на рис. 76.

Переменный резистор R_2 укреплен на плате гайкой. На его оси винтом М2×4 закреплен удлинитель (латунная трубка внутренним диаметром 3, внешним 6 и длиной 25 мм), на выступающий конец которого плотно надета пластмассовая ручка управления. Подстроечный резистор R_{13} установлен со стороны

остальных деталей. Его выводы вставлены в соответствующие отверстия в плате и припаяны к соединительным проводам. Для доступа к его оси (при снятых бумажном листе с надписями и прозрачной накладке) в передней стенке корпуса предусмотрено отверстие диаметром 4 мм.

Плата с деталями закреплена в корпусе четырьмя винтами М2×5, ввинченными в резьбовые стойки высотой 20 мм из органического стекла.

Устройство и чертежи основных деталей детекторной головки показаны на рис. 77. Головка состоит из передней *2* и задней *7* стенок (органическое стекло, полистирол), в пазах которых клеем БФ-2 закреплена монтажная плата

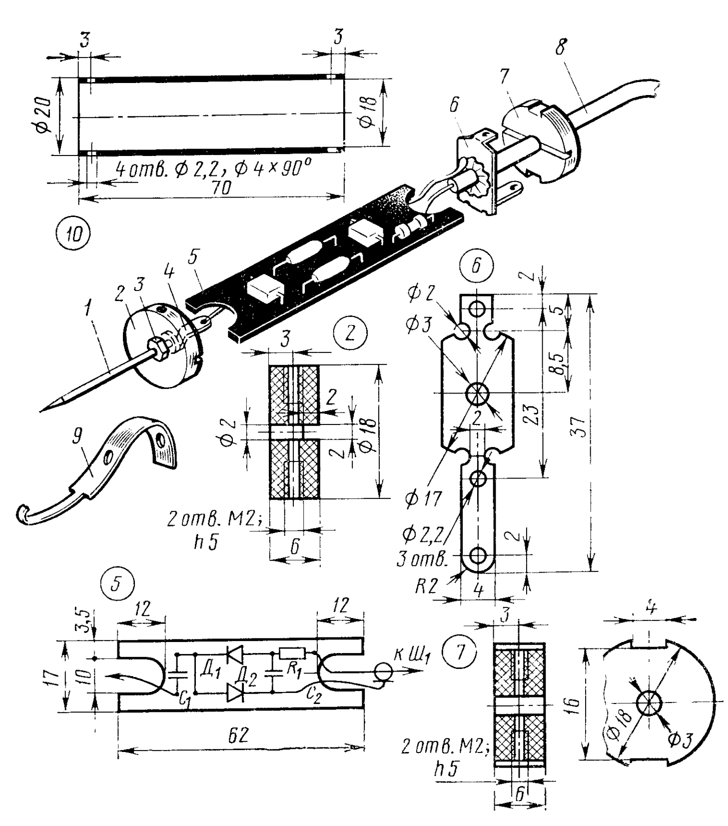


Рис. 77

5 (стеклотекстолит, гетинакс); стальной заостренной шпильки *1*, закрепленной в передней стенке двумя гайками *3* (М2); П-образной латунной скобы *6*, к которой припаяна экранирующая оплетка коаксиального кабеля *8* (можно использовать и обычный экранированный провод), и корпуса-экрана *10* (дюралюминиевая трубка). Для соединения шпильки *1* с конденсатором C_1 (см. рис. 72,*в*) предназначен монтажный лепесток *4*, закрепленный на шпильке еще одной гайкой *3*. Съемный пружинящий контакт *9* (бронза) позволяет подвесить головку на выводах деталей или проводников проверяемого устройства. Соединение с общим проводом проверяемых устройств производится гибким многожильным проводом (оплетка экранированного провода) с зажимом «крокодил» на конце, припаянным к длинному (по рис. 77 нижнему) лепестку скобы *6*. Корпус *10* закреплен на стенках *2* и *7* четырьмя винтами М2×5 с потайной головкой.

Примерно также устроен и низкочастотный щуп, однако в нем нет монтажной платы (конденсатор C_1 припаян выводами непосредственно к лепестку *4* и центральной жиле кабеля *8*), поэтому его стенки *2* и *7* не имеют пропилов.

Налаживание пробника начинают с проверки режимов транзисторов по постоянному току. Для этого соединяют пробник с основным блоком четырехпроводным кабелем. При необходимости требуемых напряжений на коллекторах транзисторов T_2 и T_4 добиваются подбором резисторов R_6 и R_{11}. Остальные режимы при этом устанавливаются автоматически.

Затем калибруют частотомер. Сделать это можно разными способами. Так, при наличии заводского генератора сигналов звуковой частоты (можно воспользоваться и генератором сигналов звуковой частоты комплекса, если он отградуирован достаточно точно) калибровку ведут в такой последовательности. Устанавливают переключатели B_1, B_2 и B_3 соответственно в положения *Ус*, *Вкл.* и $\times 1$, переводят движок подстроечного резистора R_{13} в среднее, а резистора R_2 в нижнее (по схеме) положения и включают питание. На вход пробника (гнездо $Ш_1$) через низкочастотный щуп подают переменное напряжение 0,1—0,5 В частотой 50—70 Гц и регулятором чувствительности R_2 увеличивают сигнал до тех пор, пока стрелка микроамперметра основного блока не остановится. После этого частоту входного сигнала делают равной 100 Гц и, изменяя сопротивление подстроечного резистора R_{13}, устанавливают стрелку микроамперметра на конечную (*100*) отметку шкалы. Далее, последовательно переводя переключатель B_3 в положения $\times 10$, $\times 10^2$ и $\times 10^3$ и каждый раз увеличивая частоту входного сигнала в 10 раз, вновь устанавливают стрелку микроамперметра на конечную отметку шкалы, но теперь уже подбором конденсаторов C_{11} (предел $\times 10$), C_{10} ($\times 10^2$) и C_9 ($\times 10^3$).

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Высокочастотный генератор измерительного комплекса (рис. 78) предназначен для проверки и налаживания различных устройств, работающих в диапазоне частот от 0,12 до 16 МГц. Этот диапазон разбит на четыре поддиапазона: I—0,12—0,42 МГц; II—0,4—1,67 МГц; III—1,6—6,65 МГц и IV—5—16 МГц. Максимальная амплитуда выходного напряжения на нагрузке 100 Ом в этих поддиапазонах соответственно 0,95; 0,8; 0,65 и 0,3 В. Выходное напряжение можно регулировать как плавно, так и ступенями с помощью выносного делителя (аттенюатора), имеющего коэффициенты деления 1 : 10, 1 : 100 и 1 : 1000. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики в пределах поддиапазонов не превышает 2 дБ. Выходное сопротивление генератора около 100 Ом. Погрешность установки частоты определяется, в основном, погрешностью прибора, по которому производится градуировка шкалы генератора. При использовании в качестве образцового генератора ГЧ-6 (ГСС-6) или ГЧ-18А без особого труда удается получить погрешность установки частоты менее ±5%.

Выходной сигнал генератора можно модулировать по амплитуде, используя для этого входящий в комплекс генератор сигналов звуковой частоты. Глубина модуляции около 20%, частота модулирующего напряжения, естественно, определяется генератором звуковой частоты и может быть любой в пределах от 30 Гц до 30 кГц.

Принципиальная схема генератора показана на рис. 79. Он состоит из собственного генератора высокой частоты, собранного на полевом транзисторе T_1, эмиттерного повторителя на транзисторе T_2, оконечного усилителя на транзисторе T_4 и амплитудного модулятора на транзисторе T_3.

Генератор собран по схеме индуктивной «трехточки». Благодаря применению высокочастотного полевого транзистора удалось создать простой генератор с вполне приемлемой для любительских целей неравномерностью амплитудно-частотной характеристикой в широком диапазоне частот. Нужный поддиапазон выбирают переключателем B_1, а внутри него перестраивают генератор конденсатором переменной емкости C_6. Диод $Д_1$ в цепи затвора транзистора T_1 выполняет функции ограничителя, повышающего стабильность амплитуды генерируемых колебаний при перестройке генератора в пределах поддиапазонов. Резисторы R_1 — R_4 ослабляют положительную обратную связь, улучшая тем самым форму колебаний. Питается генератор стабилизированным напряжением, снимаемым со стабилитрона $Д_2$.

С истока транзистора T_1 напряжение ВЧ через конденсатор C_8 поступает на эмиттерный повторитель, который обеспечивает хорошую развязку генератора от нагрузки. Поскольку напряжение ВЧ, развиваемое генератором, существенно больше того, что требуется для нормальной работы последующих каскадов, сигнал на оконечный усилитель подается с делителя, состоящего из резисторов R_9 и R_{10} в эмиттерной цепи транзистора T_2.



Рис. 78

Широкополосный оконечный усилитель T_4 выполнен по схеме с общим эмиттером. Его нагрузкой является переменный резистор R_{15}, с движка которого сигнал ВЧ поступает на выходной коаксиальный разъем $Ш_2$. Для обеспечения достаточно широкой полосы пропускания оконечного усилителя сопротивление этого резистора должно быть не более 150 Ом. Тогда при емкостной нагрузке около 50 пФ (примерно такую емкость имеет коаксиальный кабель длиной 0,7) полоса пропускания усилителя составит 25—30 МГц. При этом через транзистор должен проходить относительно большой ток (около 10 мА), чтобы падение напряжения на резисторе R_{15} было примерно вдвое больше амплитуды выходного сигнала ВЧ.

Амплитудная модуляция осуществляется в выходном каскаде (ее включают выключателем B_2). Транзистор модулятора T_3 включен по постоянному току последовательно с транзистором T_4, а модулирующее напряжение НЧ с контакта *8* разъема $Ш_1$ поступает одновременно на базы обоих транзисторов (на T_4 через резистор R_{13}). В результате получается смешанная (коллекторно-базовая) модуляция выходного сигнала. Используя такой способ модуляции, простым увеличением напряжения НЧ можно получить почти 100%-ную модуляцию сигнала ВЧ при малых нелинейных искажениях.

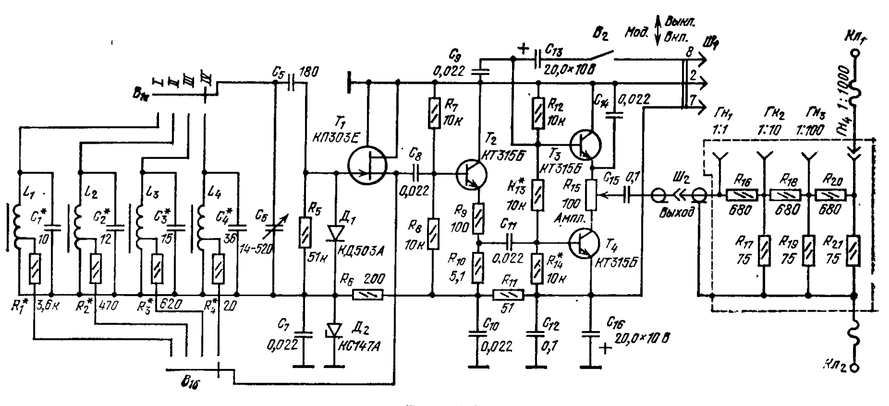


Рис. 79

Питается генератор от батареи основного блока через разъем $Ш_1$ (контакты *2* и *7*).

Конструкция и детали. Разметка передней и одной из боковых стенок (той, на которой установлено гнездо разъема $Ш_2$) генератора показана на рис. 80.

В качестве органа настройки применен сдвоенный блок (его секции соединены параллельно) конденсаторов переменной емкости с твердым диэлектриком КПТМ-4 (используется в транзисторных приемниках «Нейва», «Этюд», «Сигнал», «Орбита» и т. п.). Ось блока удлинена отрезком латунного прутка диаметром 4 и длиной 18 мм. На одном его конце просверлено осевое отверстие,

в котором затем нарезана резьба М2 Для соединения оси блока с удлинителем применена стальная шпилька М2×8. Ее ввинчивают с клеем БФ-2 в резьбовое отверстие оси блока, а на выступающий конец с тем же клеем до отказа навинчивают пруток-удлинитель.

Для регулировки выходного напряжения применен проволочный переменный резистор ППБ-1В (можно использовать переменный резистор и другого типа, важно лишь, чтобы его сопротивление не превышало 150 Ом, вылет оси был не менее 10—12 мм). С ручкой управления ось резистора соединена удлинителем, представляющим собой латунную трубку внешним диаметром 6, внутренним 4 и длиной 20 мм. В пластмассовую ручку его плотно запрессовывают, а на оси резистора (после установки монтажной платы в корпус прибора) закрепляют установочным винтом М2×4, ввинченным в радиальное резьбовое отверстие, просверленное на расстоянии 3 мм от конца удлинителя.

В генераторе можно использовать любой полевой транзистор серии КП303 и любые маломощные кремниевые высокочастотные транзисторы. Статический коэффициент передачи тока $h_{21Э}$ транзисторов T_2 и T_4 должен быть не менее 60, а транзистора T_3 — не менее 30 (при токе эмиттера 1 мА). Диод $Д_1$ — любой кремниевый высокочастотный.

В приборе применены конденсаторы КТ-1а (C_1—C_4), КМ (C_{15}), К50-6 (C_{13}) и КЛС (остальные). Все постоянные резисторы, кроме R_{10}, ВС-0,125 (МЛТ-0,125, МЛТ-0,25 и т. п.), резистор R_{10} МОН-0,5. При необходимости его можно изготовить из провода с высоким удельным сопротивлением, намотав его на корпус резистора МЛТ-0,5 сопротивлением не менее 100 Ом. Отрезок провода нужного сопротивления складывают пополам и закрепляют петлю на резисторе каплей расплавленной канифоли или нитками. После намотки концы провода припаивают к выводам резистора. При такой намотке (ее называют бифилярной) индуктивность резистора получается минимальной и практически не влияет на коэффициент деления делителя напряжения R_9R_{10} при перестройке частоты генератора.

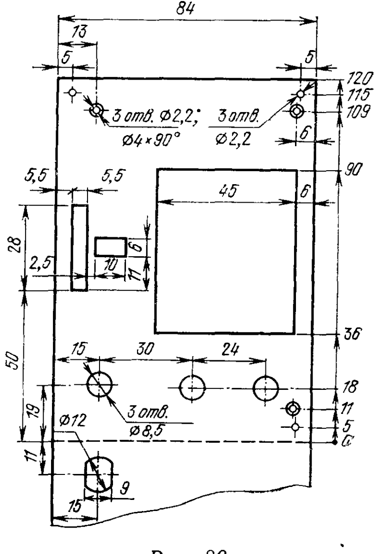


Рис. 80

Переключатель диапазона B_1 движковый. Его подвижные контакты переставлены так же, как и в переключателе B_3 испытатели транзисторов. Чертеж указателя положений переключателя приведен на рис. 81. Выключатель модуляции B_2 — микротумблер МТ-1.

Катушки генератора L_1 и L_2 намотаны на ферритовых кольцах М1000НМ-А-К10×6×4,5 (внешний диаметр 10, внутренний 6, высота 4,5 мм, феррит марки 1000НМ). Первая из них содержит 25+50 витков провода ПЭВ-2 0,15, вторая — 7+14 витков провода ПЭВ-2 0,41. Катушки L_3 и L_4 намотаны соответственно на ферритовых стержнях М600НН-3-СС3,5×20 (диаметр 3,5, длина 20 мм) и М600НН-3-СС2,8×12 (диаметр 2,8, длина 12 мм). В катушке L_3 10+20 витков провода ПЭВ-2 0,25, в L_4 4+8 витков провода ПЭВ-2 0,51. Индуктивность последних двух катушек можно регулировать, изменяя расстояние между витками. После регулировки витки закрепляют на сердечниках полистироловым клеем. Им же приклеивают к плате катушку L_1 (остальные достаточно прочно удерживаются собственными выводами).

Детали генератора, кроме разъемов $Ш_1$ (цоколь радиолампы) и $Ш_2$ (высокочастотный, желательно того же типа, что и в ранее описанных сменных блоках), смонтированы на плате (рис. 82) из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. В корпусе она закреплена с помощью винтов М2×5 и резьбовых стоек из органического стекла.

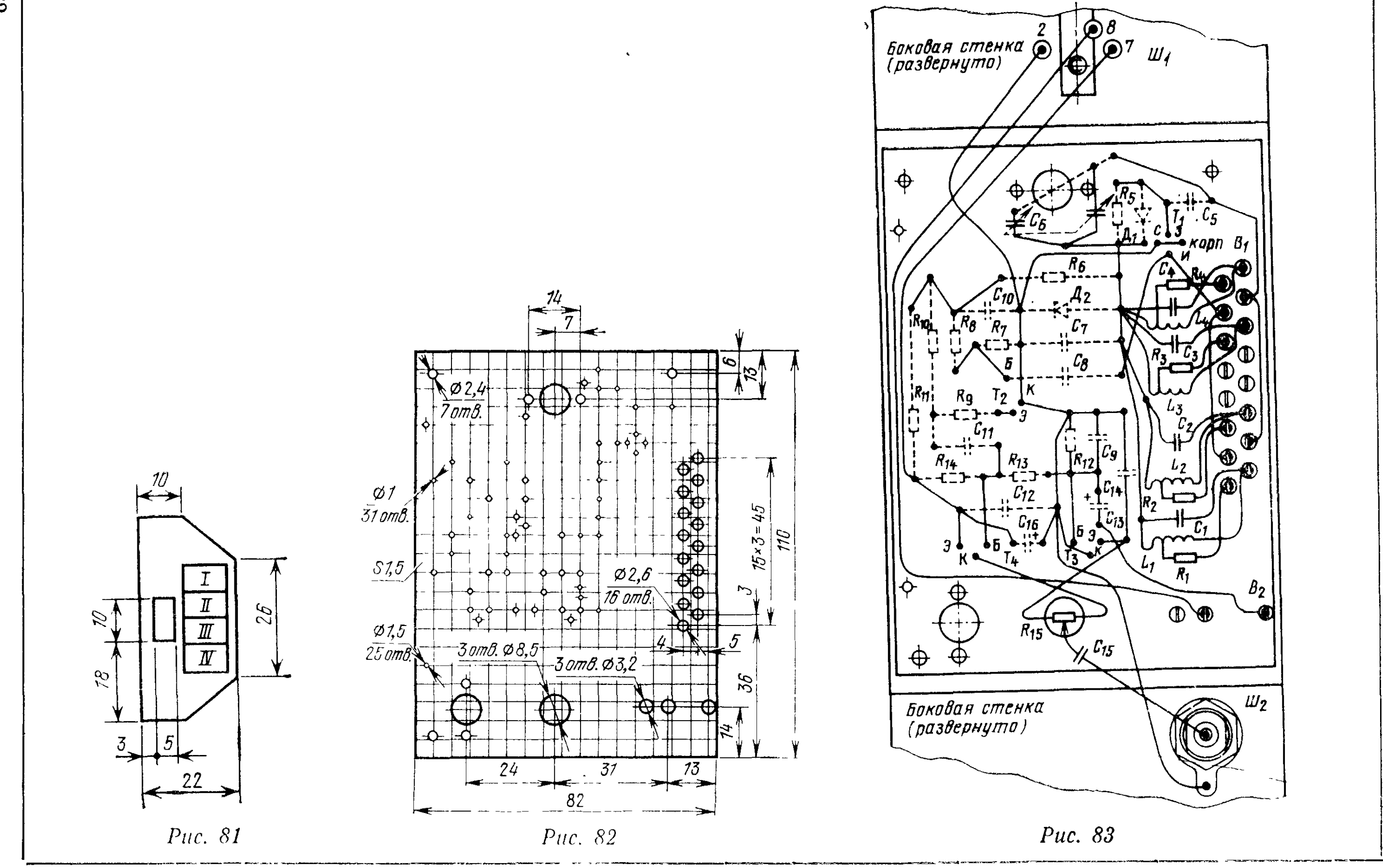


Рис. 81

Рис. 82

Рис. 83

Схема соединений показана на рис. 83 (все детали, кроме катушек L_1—L_4, конденсаторов C_1—C_4, C_6 и резисторов R_1—R_4, установлены с противоположной стороны платы). Между собой детали в основном соединены непосредственно, а с разъемами $Ш_1$ и $Ш_2$ — монтажным проводом МГШВ сечением 0,14 мм^2.

Для облегчения установки частоты применен простейший верньерный механизм с передаточным отношением 1 : 7,5. Устройство механизма показано на рис. 84. Вращение от валика настройки *12* шкиву *6*, закрепленному установоч-

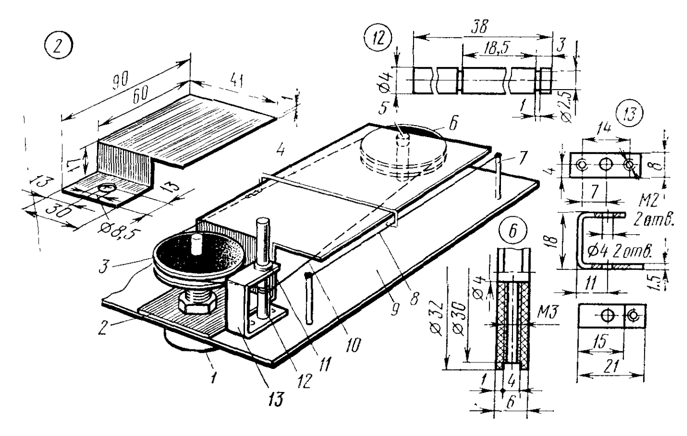


Рис. 81

ным винтом М3×10 на удлиненной оси *5* блока КПЕ, передается тросиком *10*. Он охватывает валик и шкив тремя оборотами. Сцепление, необходимое для передачи вращения без проскальзывания, создается натяжением тросика при завязывании узла. Шкив *3*, свободно вращающийся на оси переменного резистора *1* (R_{15}), паразитный, он создает нужное направление движения стрелки-указателя *4*, закрепленной на левой (по рисунку) ветви тросика. Противоположный конец стрелки скользит по направляющей *8* (медная проволока диаметром 0,6 мм, припаянная к стойкам *7*, запрессованным в плату *9*).

Валик настройки *12* вращается в отверстиях П-образного кронштейна *13*, закрепленного на плате двумя винтами М2×5. Для устранения осевого перемещения в кольцевые проточки валика вставлены установочные шайбы *11*. Шкала наклеена на подшкальник *2*, закрепленный на плате гайкой переменного резистора.

Детали верьерно-шкального механизма изготовлены из следующих материалов: шкивы *6* и *3* (отличается от шкива *6* только тем, что в нем нет резьбового отверстия М3) из органического стекла (можно использовать и любой другой подходящий материал); подшкальник *2* из того же материала, что и корпус генератора; стрелка-указатель *4* из стальной проволоки диаметром 0,5 мм; валик *12* и кронштейн *13* из стали. Тросик *10* — капроновая жила диаметром 0,4 мм.

Для ступенчатого ослабления выходного сигнала применен выносный делитель (аттенюатор), устройство которого показано на рис. 85. Корпус аттенюатора, в котором размещены резисторы *3*, изготовлен из листовой латуни толщиной 0,5 мм (можно использовать и белую жесть от консервных банок). Его обечайка *6*, перегородки *4* и *9* (тех и других надо изготовить по 3 шт.) и стенка *11* соединены друг с другом пайкой, крышки *5* и *8* — съемные. Во всех перегородках *4* просверлены отверстия диаметром 5 мм (под резисторы R_{16}, R_{18}, R_{20}), а в стенке *11* — отверстие диаметром 6 мм для крепления гнезд *10* ($Гн_1$—$Гн_4$) от панелей генераторных ламп. От стенки *11* они изолированы текстолитовыми шайбами *7* толщиной 1 мм. Резисторы R_{16}—R_{21} припаяны непосредственно с ножками гнезд и стенкам обечайки 6. Высокочастотный кабель *1* плотно вставлен в латунную трубку *2*, припаянную к обечайке. Его оплетка припаяна к трубке с внутренней стороны корпуса аттенюатора. Напротив гнезд

в крышке *8* просверлены отверстия диаметром 6 мм, через которые вставляют вилку соединительного провода. Гибкий провод *12* (общий провод) — оплетка экранированного провода, припаянная к корпусу аттенюатора в месте соединения его с трубкой *2*. К другому концу оплетки припаян зажим «крокодил».

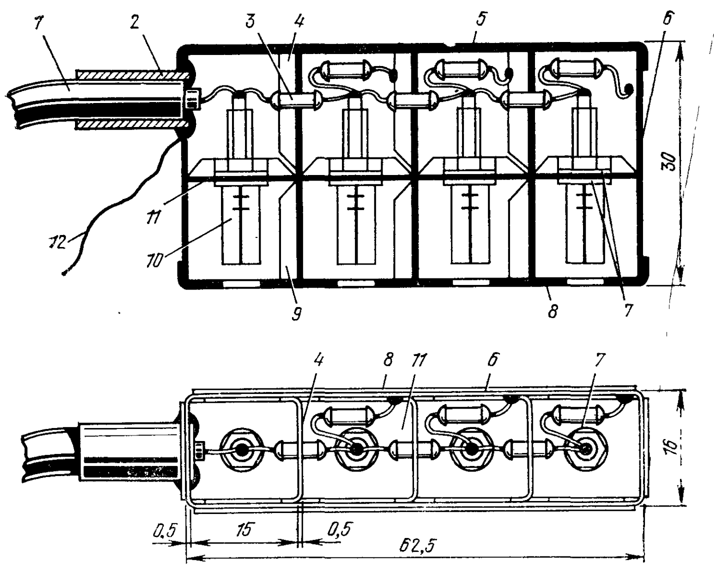


Рис. 85

Налаживание генератора начинают с установки режима работы транзисторов выходного каскада. Для этого генератор соединяют с основным блоком комплекса трехпроводным технологическим кабелем. Установив выключатель B_2 в верхнее (по схеме) положение и временно отпаяв левый (также по схеме) вывод конденсатора C_{11} от точки соединения резисторов R_9 и R_{10}, включают питание и измеряют напряжение на участке эмиттер — коллектор транзистора T_4 и на резисторе R_{15}. Первое из них должно быть около 1,5 В, второе — 1 В. Если эти напряжения отличаются более чем на $\pm 10\%$, то их устанавливают подбором резисторов R_{13} и R_{14}, которые на время налаживания заменяют переменными, сопротивлением 22—27 кОм.

Установив режим работы выходного каскада, восстанавливают соединение конденсатора C_{11} с резисторами R_9, R_{10} и переходят к налаживанию собственно генератора. В качестве индикатора на этом и последующих этапах налаживания используют описанный ранее транзисторный вольтметр постоянного тока, подключенный к эмиттеру транзистора T_2 через кабель с выносной детекторной головкой от универсального пробника. Для соединения этого кабеля с вольтметром необходимо изготовить переходное устройство, состоящее из коаксиального гнезда и припаянных к его выводам двух штепселей.

Вначале следует проверить работоспособность генератора. О наличии генерации судят по отклонению стрелки вольтметра, которая не должна устанавливаться на нулевую отметку ни в одной точке любого поддиапазона. Если же в каком-либо поддиапазоне генерация срывается, то резистор в цепи отвода катушки этого поддиапазона необходимо заменить другим, с меньшим сопротивлением. После этого укладывают поддиапазоны частот в пределы, указанные выше. Делают это подбором конденсаторов C_1—C_4 (как показала практика, изготовленные по приведенным выше данным катушки хорошо повторяются, поэтому изменять индуктивность при укладке поддиапазонов в большинстве случаев нет необходимости). Установив переключатель B_1 в положение 1, подключают выход генератора (разъем $Ш_2$) к одному из входов универсального пробника, а на его другой вход подают сигнал от генератора стандартных сиг-

налов. Граничные (крайние) частоты колебаний, вырабатываемых налаживаемым генератором, определяют по нулевым биениям в телефонах, возникающим в момент совпадения частот обоих генераторов (подробнее о методике измерения частоты с помощью универсального пробника можно прочитать дальше). Необходимой верхней границы первого поддиапазона (420 кГц) добиваются подбором конденсатора C_1, второго (1,67 МГц) — C_2, третьего (6,65 МГц) и четвертого (16 МГц) — соответственно конденсаторов C_3 и C_4.

При отсутствии генератора стандартных сигналов примерную укладку (а впоследствии и градуировку) поддиапазонов I, II, IV можно сделать, воспользовавшись всеволновым радиовещательным приемником с обзорным диапазоном КВ. В этом случае к выходу налаживаемого генератора подключают отрезок изолированного монтажного провода и располагают его рядом с антенным гнездом приемника. Установив в основной блок комплекса генератор сигналов звуковой частоты, настраивают его на частоту 1000 Гц и включают (выключателем B_2), модуляцию. Затем, последовательно устанавливая конденсатор C_6 в положения, соответствующие его максимальной и минимальной емкостям, перестраивают приемник в соответствующем диапазоне частот и определяют по его шкале граничные частоты поддиапазонов генератора (при настройке радиоприемника на частоту генератора из громкоговорителя будет слышен звук частотой 1000 Гц). Во избежание ошибок поиск сигнала генератора на шкале приемника следует всегда начинать с низкочастотного конца диапазона.

Затем подбирают оптимальную обратную связь во всех поддиапазонах частот генератора (делают это для уменьшения уровня гармоник). Наилучшие результаты получают при использовании на этом этапе налаживания электронного осциллографа (вход его усилителя вертикального отклонения луча подключают к эмиттеру транзистора T_2). Если же осциллографа нет, то индикатором может быть тот же вольтметр постоянного тока с детекторной головкой, измеряющий напряжение ВЧ на резисторах R_9 и R_{10}. Глубину обратной связи регулируют подбором резисторов R_1—R_4. На время этой операции их удобно заменить переменными резисторами сопротивлением, в 1,5—2 раза большим, чем указано на схеме. В начале движок резистора настраиваемого поддиапазона устанавливают в положение, в котором его сопротивление минимально. Настроив генератор на высшую частоту поддиапазона (при выключенной модуляции), измеряют размах (двойную амплитуду) сигнала на экране осциллографа (или напряжение по шкале вольтметра). Затем плавно увеличивают сопротивление переменного резистора до тех пор, пока выходное напряжение не начнет уменьшаться. Измерив омметром сопротивление введенной части резистора, заменяют его постоянным резистором близкого (в меньшую сторону) номинала. Подобранные таким способом резисторы R_1—R_4 обеспечивают сравнительно небольшую неравномерность амплитуды напряжения в пределах поддиапазона и приемлемый в любительской практике коэффициент гармоник.

Градуировка шкал практически не отличается от укладки поддиапазонов. Частоту отметок на шкалах выбирают такой, чтобы они отстояли друг от друга не менее чем на толщину стрелки (иначе отсчет частоты будет затруднен). Для удобства настройки усилителей ПЧ радиовещательных АМ приемников на шкале поддиапазона II дополнительно отмечают положение стрелки, соответствующее частоте 465 кГц.

Качество модуляции сигнала ВЧ проверяют с помощью осциллографа или на слух, принимая модулированный сигнал на радиовещательный приемник. При проверке по осциллографу сигнал с выхода генератора подают на вход усилителя вертикального отклонения луча через конденсатор емкостью 2200 пФ, а параллельно входу подключают резистор сопротивлением 100—150 Ом. Такой RC-фильтр пропускает модулированный сигнал ВЧ и не пропускает модулирующий сигнал НЧ, который искажает осциллограмму.

В заключение градуируют шкалу регулятора амплитуды выходного сигнала. Генератор настраивают на частоту 200 кГц и подключают через детекторную головку к транзисторному вольтметру постоянного тока. Поворачивая ручку регулятора из положения, соответствующего максимальному выходному напряжению, в положения, соответствующие 0,9; 0,8; ...; 0,1 его значения, на ободе ручки (точно напротив риски на передней панели) прорезают лезвием ножа риски, по которым впоследствии и судят об уровне выходного сигнала.

СЕТЕВОЙ БЛОК ПИТАНИЯ

При работе в стационарных условиях приборы измерительного комплекса целесообразно питать не от батареи, а от сети. Требования к сетевому блоку питания сравнительно невысоки: обеспечить постоянное напряжение 8—9 В при токе нагрузки 150 мА — именно такой ток потребляют три наиболее неэкономичных прибора измерительного комплекса.

Принципиальная схема сетевого блока питания, удовлетворяющего этому требованию, показана на рис. 86. Он состоит из понижающего трансформатора $Тр_1$, мостового выпрямителя на диодах $Д_1$—$Д_4$ и электронного стабилизатора на транзисторе $Т_1$ и стабилитроне $Д_5$. Принцип действия такого стабилизатора основан на том, что при неизменном напряжении смещения на базе транзистора $Т_1$ (его называют регулирующим) его эмиттерный ток (а он, как видно из схемы, является выходным, т. е. течет через нагрузку) почти не зависит от изменения напряжения между коллектором и эмиттером. В данном случае напряжение смещения стабилизировано стабилитроном $Д_5$, поэтому при изменении напряжения, поступающего от выпрямителя на диодах $Д_1$—$Д_4$, ток через транзистор $Т_1$, а следовательно, и напряжение на нагрузке изменяются в относительно небольших пределах.

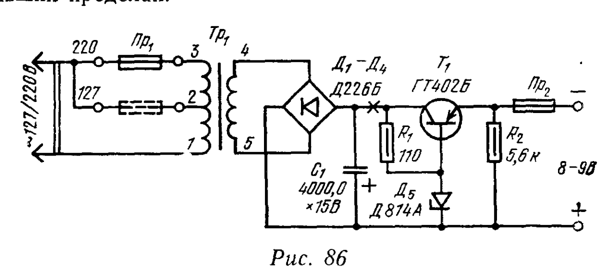


Рис. 86

Конденсатор $С_1$ сглаживает пульсации выпрямленного напряжения, повышая тем самым КПД всего устройства. Предохранитель $Пр_1$ защищает трансформатор от повреждений и одновременно выполняет функции переключателя сетевого напряжения, $Пр_2$ защищает регулирующий транзистор при случайном коротком замыкании в нагрузке.

Конструкция и детали. Конструктивно сетевой блок питания выполнен в виде отдельного узла, устанавливаемого в кассету батареи питания основного блока комплекса. Корпус блока (рис. 87) состоит из коробки прямоугольной формы, склеенной дихлорэтаном из пластин *1*, *5*, *6* (материал — листовой полистирол толщиной 3 мм), и съемной крышки *2* (материал тот же). К коробке крышку крепят тремя винтами М3×8 с потайной головкой, ввинчиваемыми в резьбовые отверстия бобышек *3* (листовой полистирол толщиной 6 мм), прикрепленных к стенкам коробки.

Полистироловая стойка *4* предназначена для крепления трансформатора питания. В блоке использован трансформатор, применяемый в кассетных магнитофонах «Электроника-301» и «Электроника-302». Выполнен он на витом тороидальном магнитопроводе из трансформаторной стали марки Э330. Первичная обмотка (выводы *1*—*3*) содержит 4800 витков провода ПЭВ-2 0,12 с отводом от 2800-го витка (вывод *2*), вторичная (выводы *4*, *5*) — 210 витков провода ПЭВ-2 0,59. В корпусе блока питания трансформатор закреплен картонной шайбой внешним диаметром 30 мм и винтом М3×15, ввинченным в резьбовое отверстие стойки.

Если приобрести такой трансформатор не удастся, можно применить трансформатор и несколько бóльших размеров, однако в этом случае блок питания целесообразно смонтировать непосредственно в основном блоке комплекса (на месте кассеты батареи), утопив трансформатор в дно его корпуса (примерно так, как это сделано со стрелочным измерительным прибором). Разумеется, блок питания можно выполнить и в виде отдельного блока, размещаемого вне комплекса, что снимает все ограничения на размеры трансформатора. В любом случае, приобретая готовый трансформатор или изготовляя его самостоятельно,

необходимо помнить, что для получения стабилизированного напряжения около 8 В переменное напряжение на его вторичной обмотке при токе нагрузки 150 мА должно быть не менее 9—10 В.

Все детали блока питания, кроме трансформатора и конденсатора фильтра C_1, смонтированы на плате (рис. 88), изготовленной из стеклотекстолита (гетинакса) толщиной 1,5 мм. Схема соединений деталей и размещение платы, трансформатора и конденсатора фильтра в корпусе блока показаны на рис. 89

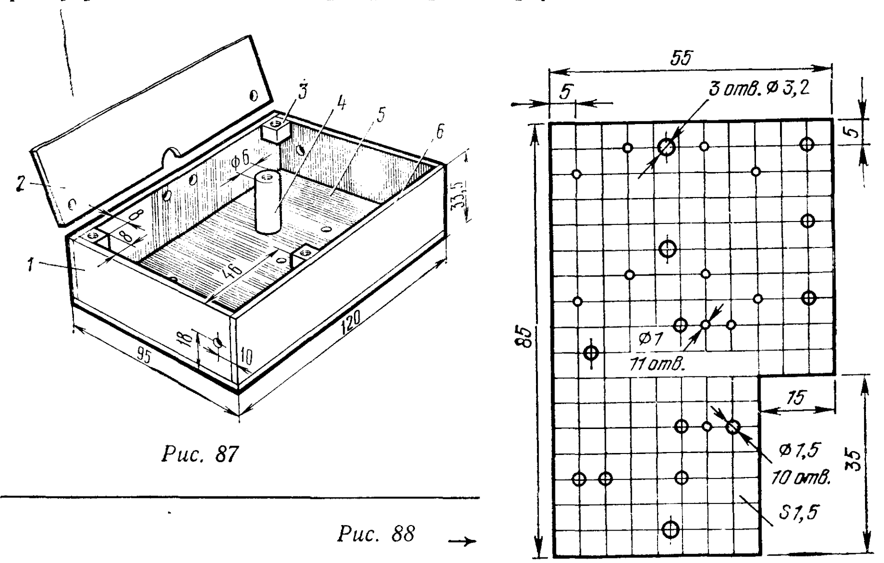


Рис. 87

Рис. 88 →

(штриховыми линиями изображены соединения, выполненные с противоположной стороны платы). К корпусу плату *5* крепят двумя винтами *2* (М3×6), ввинченными в резьбовые отверстия в его дне. Между платой и дном на винты надеты текстолитовые шайбы толщиной 1,5 мм. Конденсатор C_1 закреплен в корпусе алюминиевой скобой *1*, а она в свою очередь двумя винтами *6* (М2×6) с гайками.

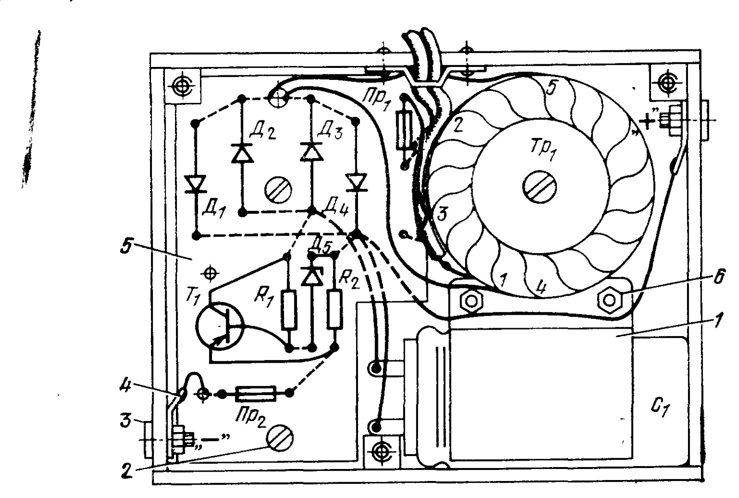


Рис. 89

Для соединения с малыми контактами кассеты батареи питания служат контакты *3* (латунные винты М3×6 со спиленными по высоте до 1 мм головками). На стенках корпуса их закрепляют гайками, под которые подложены монтажные лепестки *4*. Такая конструкция блока обеспечивает взаимозаменяемость с батареей питания, но не позволяет ввести (по крайней мере без некоторой переделки основного блока комплекса) выключатель сетевого питания: для выключения блока приходится вытаскивать вилку сетевого шнура из розетки. Чтобы этого не делать, можно вмонтировать выключатель в разрыв одного из проводов сетевого шнура (например, так, как это делается в бытовых светильниках). Тем же, кто сочтет возможным вовсе отказаться от батарейного питания, советуем встроить описываемое устройство в основной блок комплекса, предусмотрев при этом выключатель сети и индикатор включения в сеть (им может быть миниатюрная неоновая лампа ТН-0,2, подсоединенная параллельно первичной обмотке трансформатора к выводам *1* и *2* через резистор МЛТ-0,5 сопротивлением 100—120 кОм). Выключатель и индикатор в этом случае целесообразно смонтировать на накладке основного блока.

Для облегчения теплового режима транзистор T_1 установлен на теплоотводе (рис. 90,*а*), согнутом из латунной полоски шириной 16 и толщиной 0,8 мм. Необходимый тепловой контакт с корпусом транзистора создается винтом М2×8 с гайкой (показаны штриховыми линиями). На плате теплоотвод закреплен медной заклепкой диаметром 1,5 мм. Такие же заклепки применены и для крепления зажимов-держателей предохранителей (рис. 90,*б*), изготовленных из полосок пружинящей латуни толщиной 0,3 мм.

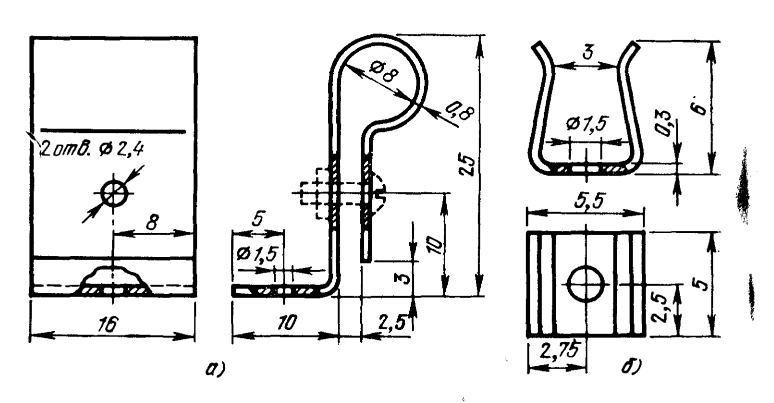


Рис. 90

При подборе деталей для блока питания следует учесть, что напряжение стабилизации стабилитронов Д814А (вместо него можно использовать стабилитрон Д808) имеет значительный разброс — от 7 до 8,5 В при комнатной температуре, поэтому, чтобы получить выходное напряжение 8 В, необходимо отобрать экземпляр, у которого напряжение стабилизации равно 8,2—8,3 В. Иными словами, напряжение стабилизации должно быть больше выходного на 0,2—0,3 В (таково падение напряжения на эмиттерном переходе регулирующего транзистора).

Транзистор T_1 может быть любым из серий ГТ402, ГТ403, П601, П602 и т. п. Естественно, если корпус транзистора устроен иначе, чем у транзисторов ГТ402, конструкцию теплоотвода придется изменить. Что касается выпрямителя, то в нем можно применить любые диоды, рассчитанные на прямой ток 150—200 мА и обратное напряжение не менее 30 В. Однако, если выпрямленное напряжение на конденсаторе C_1 при максимальной нагрузке близко к минимальному для данного устройства (около 9,5 В), то в выпрямителе необходимо использовать германиевые диоды, например, серии Д7, которые имеют значительно меньшее, чем кремниевые, прямое падение напряжения и позволяют создать нужный для нормальной работы стабилизатора запас напряжения.

Остальные детали следующих типов: конденсатор C_1 — К50-6, резисторы — МЛТ-0,5, предохранители — малогабаритные, типа ПМ-20 на ток 0,1 (*Пр*$_1$) и 0,25 А (*Пр*$_2$).

Налаживание блока питания рекомендуется выполнить на макетной плате. Отключив стабилизатор от выпрямителя (разорвав соединение в точке, обозначенной на схеме крестиком), измеряют напряжение на конденсаторе C_1 при токе нагрузки от 0 до 150 мА. Нагрузкой может служить переменный проволочный резистор сопротивлением 470—680 Ом. Как уже говорилось, при максимальной нагрузке это напряжение $U_{C min}$ должно быть не менее 9,5 В. Далее определяют сопротивление резистора R_1. Для нормальной работы стабилизатора ток через него I_{R_1} при минимальном напряжении $U_{C min}$ должен быть не меньше суммы минимально допустимого тока через стабилитрон (3 мА для Д814) и максимального тока базы $I_{Б max}$ транзистора T_1. Последний нетрудно определить из соотношения $I_{Б max}=I_{К max}/h_{21Э}$, где $I_{К max}$ — ток коллектора, примерно равный максимальному току нагрузки блока питания.

Сопротивление резистора R_1 вычисляют по формуле $R_1=(U_{C min}—U_{ст})/I_{R_1}$, где $U_{ст}$ — напряжение стабилизации стабилитрона. При использовании в стабилизаторе транзистора с $h_{21Э}\approx30$ максимальный ток базы может достигать 5 мА. В этом случает ток через резистор R_1 должен быть не менее 8 мА. Взяв его с некоторым запасом, например равным 10 мА, нетрудно убедиться, что сопротивление резистора должно быть 120—130 Ом.

Установив в стабилизатор резистор такого сопротивления, восстанавливают разорванную ранее цепь и проверяют работу устройства в целом, а затем переносят детали и монтаж на плату блока. В изготовленном авторами блоке выходное напряжение оставалось практически неизменным при увеличении тока нагрузки до 150 мА.

Несколько слов о технике безопасности при налаживании сетевого блока питания. Все перепайки и переключения необходимо делать при вынутой из розетки вилке сетевого шнура (даже если будет предусмотрен отдельный выключатель сети). Измеряя напряжения и токи в цепях выпрямителя и стабилизатора (а это, естественно, можно делать только при включенном блоке), следует быть предельно осторожным, избегать случайных касаний неизолированных проводов и деталей, находящихся под напряжением сети.

РАБОТА С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ

В начале книги мы уже говорили о погрешностях измерений о том, что они могут быть обусловлены как несовершенством самих измерительных приборов, так и ошибками, допускаемыми человеком в процессе работы. Напомним некоторые основные положения, касающиеся точности измерений.

Результат измерений A может отличаться от действительного значения измеряемой величины A_0 на некоторую величину $\Delta A=A—A_0$, которая называется абсолютной погрешностью измерений. Например, если при измерении напряжения $U_0=10$ В получен результат $U=9{,}9$ В, то абсолютная погрешность измерений $\Delta U=U—U_0=—0{,}1$ В.

Очевидно, что абсолютная погрешность еще не определяет действительной точности измерений. В самом деле, абсолютная погрешность 0,1 В в подавляющем большинстве случаев допустима при измерении напряжения 10 В, но может стать неприемлемой при измерении небольших напряжений, скажем менее 1 В. Более полно характеризует точность измерений относительная погрешность δ, равная выраженному в процентах отношению абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины

$$\delta=\frac{\Delta A}{A_0}100\%.$$

Для рассмотренного выше примера относительная погрешность составит 1%. У большинства стрелочных приборов абсолютная погрешность для всех точек рабочей части шкалы примерно одинакова, а относительная погрешность разная. Она будет увеличиваться от конца шкалы к ее началу. Это является одной из причин, почему рекомендуется для повышения точности измерений выбирать

поддиапазоны измерительной аппаратуры так, чтобы отсчет всегда производился во второй половине шкалы. С этой точки зрения наиболее удобным является ряд 1, 2, 5, 10 и т. д., который к тому же облегчает пересчет показаний при использовании одной шкалы на всех поддиапазонах. Ряд 1, 3, 10 и т. д., нередко используемый в профессиональной аппаратуре, меньше подходит для любительских конструкций, поскольку требует применения стрелочного прибора с двумя шкалами (одна для поддиапазонов, кратных 1, другая — кратных 3). Этот ряд практически неприемлем в тех случаях, когда шкала прибора нелинейна — сжата в начальной части. Такая ситуация, в частности, имеет место в милливольтметрах переменного тока, где линейная зависимость показаний стрелочного прибора от измеряемой величины соблюдается с хорошей точностью только во второй половине шкалы.

Погрешность, возникающая в нормальных условиях работы измерительного прибора (т. е. в тех, в которых производилась его калибровка), называется основной. При изменении этих условий появляются так называемые дополнительные погрешности (температурные, из-за изменения напряжения питания и т. д.). Радиолюбительские измерительные приборы изготавливают в подавляющем большинстве случаев для эксплуатации в домашних условиях, где температура достаточно стабильна, поэтому основным источником дополнительных погрешностей является нестабильность источников питания.

Сравнивают стрелочные приборы, основываясь на приведенной погрешности $\delta_{пр}$ под которой понимают выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к предельному значению $A_п$ рабочей части шкалы

$$\delta_{пр} = \frac{A}{A_п} 100\% .$$

В соответствии с приведенной погрешностью приборы бывают разных классов точности. Номер класса определяет максимальное значение основной приведенной погрешности. Так, стрелочный прибор М24 с током полного отклонения 100 мкА, использованный в описываемом измерительном комплексе, имеет класс точности 1,0.

Очевидно, что для самодельной аппаратуры точность измерений ограничена не классом примененного стрелочного прибора, а внешними элементами и устройствами: точностью подбора резисторов в делителях, линейностью преобразователей (например, частоты в постоянный ток в частотомере, переменного напряжения в постоянный ток в милливольтметре) и т. д. Заметим, что именно эти элементы и узлы практически всегда будут определять дополнительную погрешность прибора.

Сказанное выше о точности измерений полностью относится и к измерительной аппаратуре, не содержащей стрелочных приборов. Здесь достижение высокой точности измерений связано с дополнительными трудностями. Радиолюбитель сам в большинстве случаев изготавливает верньерно-шкальный механизм, сам калибрует и градуирует шкалу, которая к тому же практически всегда нелинейна.

Погрешности, обусловленные ошибками человека, работающего с измерительной аппаратурой, можно разделить на два вида: погрешности, связанные с субъективностью отсчета измеряемой величины и, погрешности, обусловленные влиянием измерительного прибора на исследуемую цепь. Первые из них вызваны тем, что разные люди по-разному оценивают доли делений шкалы, по-разному «округляют» считываемые со шкалы значения. Кроме того, даже один и тот же человек в пределах одного цикла измерений может под разными углами смотреть на измерительный прибор, внося тем самым дополнительную погрешность в отсчет измеряемой величины. Для самодельной аппаратуры не очень высокого класса погрешностями такого рода обычно можно пренебречь.

Что касается второго вида погрешностей, то, хотя они и связаны с влиянием измерительного прибора на исследуемую цепь, в конечном счете они зависят от человека, поскольку именно он выбирает точки измерения, режимы работы исследуемого устройства и измерительную аппаратуру. Подробнее на этом вопросе остановимся ниже при рассмотрении работы с различными сменными блоками комплекса. Далее везде предполагается, что соответствующий сменный блок вставлен в кассету, а стрелочный прибор подключен переключателем B_1 (см. рис. 2) к этому блоку.

Миллиамперметр. Прежде всего, необходимо заметить, что прямые (с помощью миллиамперметра) измерения постоянного тока, в радиолюбительской практике применяются не так уж часто, хотя знать токи необходимо при налаживании большинства конструкций. Причина этого — необходимость разрывать исследуемую цепь, что в большинстве случаев весьма нежелательно при отладке готовых конструкций, ремонте аппаратуры и т. д. Иногда это и в принципе невозможно, как, например, в аппаратуре, выполненной методом печатного монтажа. О косвенных способах измерения тока будет сказано ниже.

Сами измерения тока просты. Исследуемую цепь разрывают, а в разрыв в нужной полярности включают миллиамперметр, предварительно установив предел измерения 500 мА. Затем, последовательно понижая предел измерений, добиваются, чтобы стрелка измерительного прибора оказалась во второй половине шкалы, и считывают показания.

По соображениям техники безопасности подключать миллиамперметр (и другие приборы комплекса) следует только при обесточенной исследуемой конструкции. Иногда ее необходимо выключать и при переключении предела измерений миллиамперметра, поскольку в этом случае будет иметь место временный разрыв цепи, что может привести к выходу из строя исследуемого устройства. Падение напряжения на зажимах миллиамперметра не превышает 75 мВ, поэтому в подавляющем большинстве случаев оно не влияет на режим работы исследуемых цепей.

Миллиамперметр можно использовать для измерения постоянной составляющей в цепях, где протекают токи низкой частоты (до 20 кГц). Если существует опасность, что внутреннее сопротивление миллиамперметра (около 60 Ом на пределе 1 мА и меньшее на остальных пределах) может повлиять на частотные характеристики исследуемого устройства, миллиамперметр следует шунтировать конденсатором. Емкость конденсатора $C_ш$ определяют по формуле

$$C_ш \geqslant 1{,}5/f_н R_и,$$

где $f_н$ — низшая рабочая частота: $R_и$ — внутреннее сопротивление миллиамперметра на выбранном пределе измерений.

В высокочастотных устройствах измерять постоянные токи следует либо в отсутствие ВЧ сигнала, либо в цепях, не содержащих ВЧ составляющих. Что же касается генераторов и усилителей, работающих в нелинейном режиме, то в них постоянный ток прямыми методами можно измерять только в цепях, где нет ВЧ сигнала (рис. 91), вводя при необходимости блокировочные конденсаторы (C_4 и C_5.)

Вольтметры постоянного тока. В составе измерительного комплекса имеется два вольтметра постоянного тока, которые различаются как пределами измерений, так и ОВС. Последняя характеристика вольтметров весьма существенна, но не следует думать, что правильно определить режим работы транзистора или иного устройства вольтметром с ОВС 10 кОм/В невозможно. В большинстве случаев это можно сделать, важно лишь знать, где и как производить измерения.

Вольтметр подключают (с соблюдением полярности) параллельно исследуемому участку цепи, поэтому необходимо, чтобы прибор не шунтировал его. Во избежание грубых промахов при измерениях это влияние вольтметра на контролируемую цепь желательно оценить. Сделать это нетрудно, так как практически всегда известно сопротивление того или иного участка цепи, нередко в первом приближении известны протекающие через него токи.

Нельзя измерять напряжение на резисторе, сопротивление которого сравнимо с входным сопротивлением вольтметра (оно равно произведению ОВС на значение используемого предела измерений).

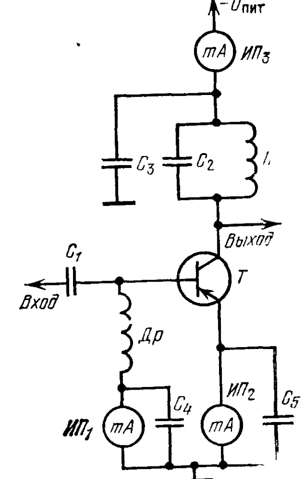


Рис. 91

Нельзя подключать вольтметр параллельно элементу (например, транзистору), ток через который сравним с током, потребляемым вольтметром (для вольтметра с ОВС, равным 10 кОм/В, он составляет 100 мкА).

В качестве примера рассмотрим наиболее распространенную схему включения транзистора малой мощности (рис. 92). Начнем с того, что сопротивление резистора R_3 в цепи эмиттера редко превышает 1 кОм, и, следовательно, вольтметром с ОВС, равным 10 кОм/В, практически всегда можно измерить напряжение на этом резисторе. Если делитель в цепи базы низкоомный (R_2=1 кОм), то можно измерить и напряжение на выводе базы транзистора *T*. Разность между этими двумя напряжениями ($U_Б—U_{R_3}$) должна составлять 0,1—0,3 В для германиевого транзистора и 0,5—0,8 В для кремниевого. Отклонение напряжения в ту или другую сторону будет свидетельствовать либо о неисправности транзистора, либо о неправильном режиме его работы, либо об ошибке в измерениях.

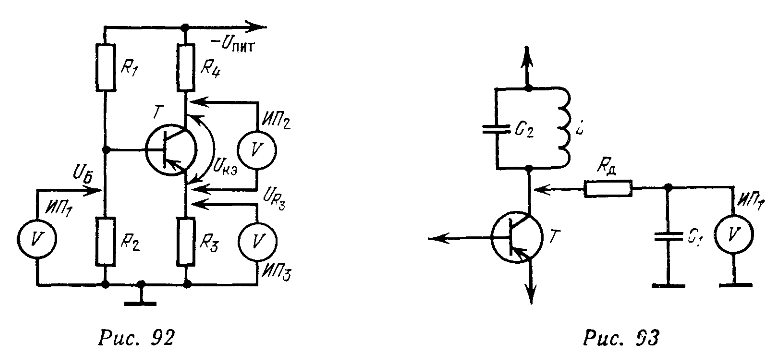


Рис. 92 *Рис. 93*

Зная сопротивление резистора R_3 и напряжение на нем, нетрудно вычислить ток эмиттера транзистора — это и есть косвенный метод измерения токов (без разрыва исследуемых цепей). Подобным же образом можно обычно измерить и ток коллектора (по падению напряжения на коллекторной нагрузке или на резисторе развязывающего фильтра). Определение тока по падению напряжения на резисторе фильтра применимо и в каскадах ВЧ.

Вольтметром с ОВС, равным 10 кОм/В, можно измерять и напряжение коллектор — эмиттер $U_{КЭ}$ транзистора *T*, если ток через него не менее 1 мА. В противном случае погрешность измерений будет заметной. Напомним, что напряжение $U_{КЭ}$ в усилительных устройствах должно превышать 1,0—1,5 В.

В устройствах на современных транзисторах с большими статическими коэффициентами передачи тока $h_{21Э}$ делители в цепи базы обычно достаточно высокоомные. Кроме того, в последнее время в низкочастотных устройствах (усилителях магнитофонов, корректирующих усилителях электрофонов и т. д.) стал широко применяться режим микротоков. Определить режим работы транзистора вольтметром с низким ОВС в этих случаях практически невозможно. Иными словами, для налаживания подобных устройств необходим вольтметр с относительным входным сопротивлением, близким к 1 МОм/В. Такое ОВС позволяет производить измерения в подавляющем большинстве случаев, встречающихся в практике радиолюбителя.

Особо следует сказать об измерениях постоянного напряжения в ВЧ цепях. Входная емкость вольтметров измерительного комплекса достаточно велика, поэтому их непосредственное подсоединение может повлиять на работу устройства. Избавиться от влияния вольтметра постоянного тока в этом случае можно включением последовательно в цепь измерений (рис. 93) добавочного резистора $R_д$. Вместе с входной емкостью вольтметра он образует фильтр НЧ, эффективно «срезающий» ВЧ составляющую и исключающий ее влияние на работу вольтметра. Сопротивление этого резистора выбирают обычно равным 1/10 от входного сопротивления вольтметра на данном пределе измерений, а показания вольтметра умножают на 1,1. Входное сопротивление вольтметра по посто-

янному току при этом практически не изменяется, но по переменному току для исследуемой цепи он будет представлять нагрузку, примерно равную сопротивлению дополнительного резистора. Вот почему вольтметром с ОВС, равным 10 кОм/В, подобным методом можно измерять напряжения только в очень низкоомных (сотни ом) ВЧ цепях.

Добавочный резистор для измерения постоянных напряжений в ВЧ цепях можно практически без ограничений применять с транзисторным вольтметром (ОВС равно 500 кОм/В). Однако и в этом случае на относительно низких частотах (начиная с 100 кГц) входная емкость прибора может быть уже недостаточна для эффективной фильтрации переменного напряжения. Для улучшения фильтрации параллельно входу вольтметра включают конденсатор C_1. Его емкость можно оценить по формуле

$$C_1 \geqslant 1{,}5/f_н R_д,$$

где $f_н$ — низшая частота переменного напряжения в исследуемой цепи; $R_д$ — сопротивление добавочного резистора. Заметим, что если от вольтметра постоянного тока не требуется в этих измерениях высокой чувствительности (измеряются относительно большие постоянные напряжения — единицы вольт и более), то сопротивление добавочного резистора можно выбрать сравнимым с входным сопротивлением вольтметра, облегчив тем самым фильтрацию переменной составляющей. Естественно, что это сопротивление должно быть известно с достаточной точностью, чтобы можно было определить поправочный коэффициент к показаниям вольтметра.

Испытатель транзисторов. Работа с этим прибором очень простая. Подключив испытываемый транзистор, выбирают ток эмиттера, близкий к тому, при котором данный транзистор будет работать в собираемом устройстве. Затем, нажав на кнопку *Измерение,* считывают показания прибора и по таблице определяют статический коэффициент передачи тока транзистора. Если полученное значение $h_{21Э}$ оказывается небольшим, то следует проверить правильность подключения транзистора. Не исключено, что при подключении перепутали выводы эмиттера и коллектора и измерили $h_{21Э}$ транзистора в инверсном режиме (обычно $h_{21Э}$ в этом случае небольшое — менее 20). Это же следует сделать и при всех других отклонениях от нормы (стрелка не отклоняется либо, наоборот, «зашкаливает»). Кроме того, типичной ошибкой является неправильное положение переключателя *Структура (р-п-р* или *п-р-п).*

Подчеркнем еще раз, что прибор измеряет параметр $h_{21Э}$ при фиксированном токе эмиттера (коллектора). Это дает возможность оптимальным образом подобрать пары транзисторов для работы в двухтактных и балансных каскадах, позволяет, установив в реальном устройстве соответствующий ток коллектора проверенного транзистора, использовать полученное значение $h_{21Э}$ для оценки правильности работы отдельных узлов создаваемой конструкции.

Генератор сигналов звуковой частоты и милливольтметр переменного тока. Работа с этими приборами проста и не должна вызывать каких-либо вопросов, но тем не менее необходимо сделать несколько замечаний. Выходное сопротивление генератора примерно 500 Ом. Это позволяет налаживать низкочастотную аппаратуру с входным сопротивлением выше 5 кОм, не прибегая к дополнительному контролю выходного напряжения генератора (например, при снятии амплитудно-частотной характеристики). Налаживание устройств с более низкими входными сопротивлениями требует постоянного контроля выходного напряжения. При сопротивлении нагрузки менее 1 кОм возможен даже срыв колебаний (полный или в каком-либо участке диапазона).

Высокое входное сопротивление милливольтметра (100 кОм или 1 МОм на разных поддиапазонах) позволяет использовать его при налаживании практически любых любительских конструкций. Единственная трудность, которая может возникнуть при измерении малых напряжений, значительные наводки с частотой сети, маскирующие полезный сигнал. Помимо общеизвестных мер по снижению подобных наводок (выбор оптимальной точки подключения соединительного кабеля к корпусу исследуемой аппаратуры, оптимизация положения этого кабеля по отношению к сетевому трансформатору и т. п.), весьма эффективным оказывается применение фильтра ВЧ с частотой среза 200—400 Гц. Такой фильтр в милливольтметре отсутствует, но иногда (в тех случаях, когда

требования к входному сопротивлению милливольтметра невелики) можно воспользоваться, как уже отмечалось, фильтром ВЧ, имеющимся в измерителе нелинейных искажений (ИНИ).

Для этого милливольтметр и ИНИ включают как и при измерении нелинейных искажений. Измеряемый сигнал подают на вход ИНИ и при нажатой кнопке *Калибр.* регулятором уровня ИНИ устанавливают коэффициент передачи блока, равный 1. Разумеется, подобную операцию надо выполнять на достаточно высокой частоте — выше частоты среза фильтра ВЧ ИНИ (выше 200 Гц). Если производят измерения, то установку коэффициента передачи ИНИ можно и не делать. Поскольку кнопка *Калиб.* не имеет фиксации, то описанное выше применение ИНИ сопряжено с одним неудобством — при регулировке аппаратуры приходится держать эту кнопку нажатой. Этого легко избежать, заменив кнопку микротумблером типа МТ-1.

Измеритель нелинейных искажений. Порядок работы с ИНИ, состоящего, по существу, из двух сменных блоков (милливольтметра переменного тока и приставки к нему — измерителя нелинейных искажений), уже достаточно подробно описан (см. стр. 47). Здесь остановимся лишь на некоторых особенностях эксплуатации ИНИ. Может создаться впечатление, что, обладая относительно невысоким входным сопротивлением (около 5 кОм) и малой чувствительностью, он позволяет измерять коэффициент нелинейных искажений лишь усилителей мощности НЧ. Однако это не так. Прежде всего напомним — на экране осциллографа нелинейные искажения сигнала синусоидальной формы заметны лишь с уровня 3—5%. Следовательно, даже в тех случаях, когда на экране осциллографа «чистый синус», искажения сигнала могут быть значительными. И определить их теперь можно либо на слух (а ухо весьма субъективный «прибор»), либо с помощью ИНИ. При напряжениях 0,3—0,5 В (типичные значения уровня сигнала на линейном выходе большинства устройств бытовой техники) наш ИНИ позволяет измерять коэффициент гармоник 0,6—1%, что в большинстве случаев является вполне достаточным.

Погрешность измерения коэффициента гармоник для описанного прибора довольно большая, но это не так уж существенно, поскольку обычно при налаживании усилителей измерения носят относительный характер — радиолюбитель добивается минимума нелинейных искажений. При подобных относительных измерениях тем не менее не следует забывать о необходимости постоянного контроля напряжения, поступающего на вход ИНИ. Ведь при тех или иных регулировках может одновременно уменьшиться и уровень выходного сигнала, что (без надлежащего его контроля) может быть воспринято как уменьшение искажений.

Если установить факт наличия нелинейных искажений и измерить их величину нетрудно, то добиться их уменьшения уже сложнее. ИНИ не дает информации о характере искажений, что затрудняет обнаружение каскада (или каскадов), в которых они возникают. Здесь во многом приходится полагаться на знание того, как работает налаживаемое устройство и где в нем могут возникать искажения, на собственный опыт и, наконец, просто на везение. Определенную информацию может дать покаскадное измерение коэффициента гармоник (там, где оно возможно из-за ограничений, накладываемых входным сопротивлением прибора и его чувствительностью).

Измеритель *RCL*. Эксплуатация этого прибора обычно не вызывает затруднений. Если порядок номинала элемента известен, то измерения начинают с соответствующего поддиапазона. Когда предварительные данные об элементе отсутствуют и их нельзя оценить по внешнему виду, приходится «пробежать» по всем поддиапазонам. При работе с прибором следует помнить, что из-за сравнительно небольшого входного сопротивления миллиамперметра измерителя *RCL* на некоторых пределах измерения емкости (30—300 пФ) и индуктивности (30—300) отклонение стрелки при разбалансе может оказаться небольшим, что затрудняет отсчет измеряемой величины. В связи с этим на указанных пределах измерения частоту переменного напряжения, питающего мост, желательно изменять: при измерении емкости увеличивать до 10 кГц, а при измерении индуктивности уменьшать до 100 Гц. Индуктивные и емкостные сопротивления измеряемых и образцовых элементов при этом уменьшатся в 10 раз, милливольтметр будет меньше шунтировать мост и индикация баланса моста станет более четкой.

Заметим, что при повторении конструкции в измерителе *RCL* можно вообще отказаться от встроенного милливольтметра, а использовать для индикации баланса сменный блок милливольтметра переменного тока. Для этого достаточно соединить движок переключателя B_2 (см. рис. 62) с контактом 1 разъема $Ш_1$. Высокие входное сопротивление и чувствительность этого милливольтметра позволяют четко фиксировать баланс моста на всех поддиапазонах. В этом случае, правда, нельзя одновременно использовать сменные блоки измерителя *RCL* и измерителя нелинейных искажений.

Универсальный пробник. Подобные приборы относительно редко встречаются в лаборатории радиолюбителя, поэтому о работе с этим сменным блоком поговорим подробнее, чем о работе с остальными блоками. Универсальный пробник позволяет быстро найти неисправность в радиоприемнике и магнитофоне, измерить частоту НЧ или ВЧ сигнала, а также разность частот двух ВЧ генераторов.

Об измерении частоты сигналов НЧ подробно рассказывалось в описании прибора. Поэтому ниже описывается измерение частоты сигналов ВЧ методом так называемых нулевых биений.

Для измерения частоты методом биений необходим вспомогательный (образцовый) генератор сигналов ВЧ с выходным напряжением не менее 0,2 В на нагрузке 100 Ом. Желательно, чтобы он перекрывал с некоторым запасом диапазон частот, соответствующий возможному диапазону частот исследуемого устройства. Это существенно упростит измерения. Однако методом биений можно определить частоту колебаний, используя и гармоники сигнала образцового генератора (например, настроить гетеродин КВ приемника по генератору стандартных сигналов диапазона ДВ или СВ). Следует помнить, что погрешность измерений частоты методом биений определяется в первую очередь погрешностью образцового генератора.

Из приборов заводского изготовления для таких измерений подойдут генераторы стандартных сигналов ГСС-6 и Г4-18А. Можно воспользоваться и генератором сигналов ВЧ, входящим в состав измерительного комплекса.

На универсальный пробник (разъемы $Ш_1$ или $Ш_2$, см. рис. 72) сигнал образцового генератора подают через коаксиальный кабель или экранированный провод. Связь пробника с источником исследуемого сигнала может быть различной. Например, при измерении частоты гетеродина транзисторного приемника достаточно провод, подключенный к центральному контакту разъема $Ш_1$ или $Ш_2$ пробника, поместить недалеко от настраиваемого приемника. Если же налаживаемое устройство имеет низкоомный выход, его можно подсоединить (через коаксиальный кабель или экранированный провод) непосредственно к свободному разъему $Ш_1$ или $Ш_2$.

Биения низкой (звуковой) частоты возникают, если частоты образцового и исследуемого сигналов очень близки (биения являются разностью частот этих сигналов). Но они появятся и в том случае, если близкими окажутся частоты исследуемого сигнала и какой-либо гармонической составляющей (или просто гармоники) сигнала образцового генератора или частоты образцового генератора и одной из гармоник сигнала налаживаемого устройства и т. д. (Гармониками, как известно, называют составляющие сигнала, частоты которых в целое число раз больше его частоты.)

В общем виде выражение для частоты биений F выглядит так:

$$F = |mf_1 - nf_2|,$$

где f_1 — частота сигнала образцового генератора; f_2 — частота сигнала налаживаемого устройства; n, m — целые числа (1, 2, 3, ...).

Легко видеть, что при фиксированной частоте f_2 исследуемого сигнала существует множество частот образцового генератора, на которых можно услышать биения. Поэтому основная трудность при измерениях методом биений состоит в том, чтобы из этого множества выбрать необходимую частоту. Здесь на помощь приходит зависимость амплитуды биений от того, какие гармоники сигналов создают биения: чем выше номера гармоник, тем меньше амплитуда биений. Максимальную амплитуду имеют биения, возникающие при смешении сигналов основных частот.

Наиболее просто определить частоту, если диапазон частот, перекрываемых образцовым генератором, соответствует предполагаемому диапазону частот ис-

следуемого устройства. В этом случае устанавливают максимальную чувствительность пробника и, изменяя частоту образцового генератора, прослушивают возникающие биения на головных телефонах, подключенных через разъем $Ш_4$. Определив положение ручки настройки образцового генератора, соответствующее наиболее громким биениям, добиваются нулевых биений (понижения частоты звука вплоть до его пропадания) и отсчитывают по шкале частоту исследуемого сигнала. Для того чтобы избежать ошибок, связанных с перегрузкой УНЧ пробника, в процессе измерений постепенно уменьшают его чувствительность (а при необходимости и связь с источником исследуемого сигнала).

И вот еще о чем надо помнить. При слишком сильной связи пробника с источником исследуемого сигнала частота последнего может измениться. Отсутствие этого явления определяют, ослабляя связь пробника с источником сигнала. Если высота звука (тон) при этом не изменяется, то связь достаточно слабая и измеренная частота является искомой.

При несовпадении диапазона частот вспомогательного генератора с предполагаемым диапазоном частот исследуемого сигнала измерения методом биений производят на гармониках. Здесь задача состоит в том, чтобы определить частоты, соответствующие биениям на двух соседних (отличающихся номером на единицу) гармониках образцового генератора. Порядок работы в основном такой же, как и в предыдущем случае, но измерения надо вести особенно тщательно. Обнаружив биения на какой-либо частоте (f'_1) образцового генератора, перестраивают его вверх или вниз по частоте, стараясь найти частоту f''_1, биения на которой имеют примерно такую же амплитуду, как и на частоте f'_1. Измерив по нулевым биениям точные значения частот f'_1 и f''_1, рассчитывают искомую частоту f_x по формуле

$$f_x = \frac{f_1' f_2''}{|f_1' - f_2''|}.$$

Для того чтобы не ошибиться, при измерениях на гармониках необходимо провести контрольный опыт, выбрав для этого другую пару частот, вызывающую биения с близкими амплитудами.

В практике радиолюбителя может возникнуть необходимость измерить разность частот между сигналами двух генераторов. Например, при изготовлении кварцевых фильтров надо подобрать кварцевые резонаторы, частоты последовательных резонансов которых отличаются на заданное значение (обычно 1,5—2 кГц). Эту задачу легко решить с помощью двух кварцевых генераторов, выполненных на резонаторах, предназначенных для фильтра. Сигналы с этих генераторов подают на разъемы $Ш_1$ и $Ш_2$ и включают частотомер пробника. Он будет регистрировать частоту биений между сигналами, т. е. фактически разность частот кварцевых резонаторов, использованных в генераторах. Амплитуду сигнала однако из генераторов и чувствительность пробника следует подобрать по четкой работе частотомера, как это было рекомендовано в описании принципа действия пробника.

Универсальным пробником легко определить неисправный каскад в звуковоспроизводящей аппаратуре и в приемниках АМ сигналов. Для этого к разъему $Ш_1$ подключают либо выносной низкочастотный щуп, либо выносную детекторную головку, а к разъему $Ш_4$ — головные телефоны. Переключатель рода работы $В_1$ устанавливают в положение *Усилитель*.

При налаживании УНЧ на его вход подают испытательный сигнал от какого-либо источника (электропроигрывающего устройства, трансляционной линии, звукового генератора и т. д.). Проверку начинают со входа усилителя, определяя пробником наличие испытательного сигнала. Затем, последовательно касаясь щупом выводов баз и коллекторов (для эмиттерных повторителей и каскадов с общей базой — эмиттеров) транзисторов, проверяют прохождение сигнала через усилительный тракт, определяют неработающий или вносящий искажения каскад.

Проверку радиоприемников начинают с входного контура (например, магнитной антенны). При подключении детекторной головки пробника к этому контуру получается простейший приемник типа 0-V-3. Настроившись на какую-нибудь местную радиостанцию (она будет источником испытательного сигнала),

производят покаскадную проверку приемника (каскады до детектора) проверяют с помощью детекторной головки, а после него — с помощью выносного щупа).

Во всех случаях по мере продвижения от входа налаживаемого устройства к его выходу уровень сигнала на входе пробника подбирают (переменным резистором R_2) таким, чтобы его УНЧ не перегружался.

Генератор сигналов высокой частоты. Измерения на относительно низких частотах (до 1,5 МГц) обычно не вызывают затруднений. Следует лишь избегать явных (но часто встречающихся) промахов. Например, при работе с выносным делителем сигнал на исследуемый каскад можно подавать только через дополнительный развязывающий конденсатор, емкость которого зависит от рабочей частоты и входного сопротивления каскада. Если же сигнал от генератора необходимо подать непосредственно на параллельный резонансный контур, то емкость конденсатора связи, наоборот, должна быть очень маленькой, в противном случае контур будет зашунтирован низким выходным сопротивлением генератора. Обычно используют конденсаторы емкостью до 10—15 пФ. В общем случае емкость этого конденсатора должна быть по крайней мере в 20 раз меньше емкости конденсатора, входящего в колебательный контур.

При проведении самых различных измерений в резонансных усилителях важно постоянно проверять, не перегружено ли исследуемое устройство. Дело в том, что из-за избирательных свойств резонансных контуров сигнал на выходе такого усилителя всегда (даже при больших перегрузках) будет близок по форме к синусоидальному. Перегрузка проявляется лишь в кажущемся «расширении» полосы пропускания усилителя. Именно поэтому необходимо подбирать в процессе измерений АЧХ такой уровень выходного сигнала генератора высокой частоты, чтобы сохранялась линейная связь между ним и выходным сигналом исследуемого устройства. Такой контроль надо осуществлять постоянно в процессе налаживания усилителя.

На высоких частотах следует обращать внимание на длину соединительных проводников, которыми выносной делитель генератора подключают к налаживаемой аппаратуре. Их длина не должна превышать 10—20 мм. Более длинные проводники могут работать как эффективные «антенны», искажая измерения из-за наводок на другие каскады устройства. С этой точки зрения особенно важно правильно выбрать и точку подключения общего провода выносного делителя. Одним из признаков наличия подобных паразитных связей является нелинейная амплитудная характеристика исследуемого устройства при малых уровнях сигнала.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ

Корпуса основного блока и приборов-приставок. Наилучший материал для изготовления деталей корпусов — листовой алюминиевый сплав ПМц-П толщиной 1,5—2 мм (основной блок) и 0,8—1,2 мм (приставки). Он достаточно прочен, пластичен и хорошо обрабатывается. Детали, изготовленные из него по описанной ниже технологии, не уступают по качеству обработки заводским деталям. Конечно, если такой материал достать не удастся, можно использовать и другие листовые металлы и сплавы, например алюминиевые АМц-М, АМг, латунь Л62 (той же толщины) и даже сталь марок 3, 10 кп (толщиной, в 1,5—2 раза меньшей).

Заготовки деталей из листовых алюминиевых сплавов лучше всего вырезать специальным резаком (рис. 94), изготовленным из ножовочного полотна. Правда, этот способ более трудоемок, чем вырезание кровельными ножницами, однако позволяет получить ровные, недеформированные кромки деталей. Металлический лист надрезают с каждой стороны примерно на одну треть толщины, после чего осторожно отгибая материал на 30—40° в обе стороны, отламывают полосу нужной ширины. Надрезать материал лучше всего по разметочной стальной линейке, закрепленной на концах небольшими струбцинками. Чтобы металл не налипал режущую часть резака рекомендуется периодически опускать в мыльный раствор. Кромку излома обрабатывают напильником, а затем таким же способом отрезают от полосы заготовку нужной длины, которая должна быть на 5—10 мм больше расчетной. Если, например, расчетная

длина заготовки несущей детали корпуса приставки равна 220 мм, то следует отрезать 225—230 мм. Лучше отрезать лишний материал после гибки, чем, ошибившись в расчете, получить деталь, не соответствующую чертежу.

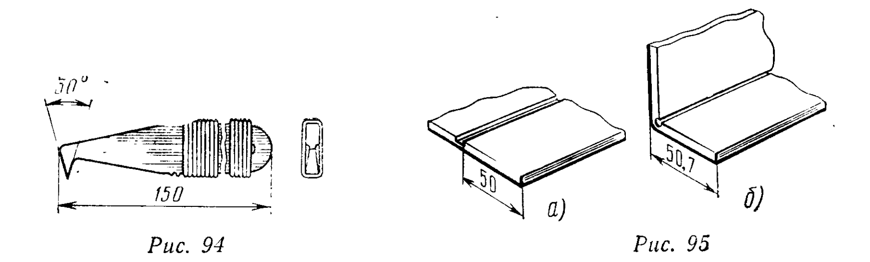


Рис. 94 Рис. 95

Для того чтобы размеры согнутых деталей получились такими, как на чертежах, рекомендуется вначале определить, на каком расстоянии от базовых кромок или плоскостей при разметке следует делать надрез или проводить линию изгиба. Для этого берут полосу материала шириной 40—50 мм и на расстоянии, например, 50 мм от одной из ее узких сторон чертят риску. В алюминиевой заготовке по этой линии делают надрез примерно на одну треть толщины с таким расчетом, чтобы риска стала одной из кромок надреза (рис. 95,*а*). Затем полосу сгибают и измеряют расстояние от базовой кромки до внешней плоскости отогнутой части (рис. 95,*б*). Предположим, что это расстояние получилось равным 50,7 мм. Тогда разницу 0,7 мм следует учитывать при разметке и гибке деталей из выбранного материала. Например, чтобы внешний размер полки той же детали корпуса приставки получился равным 10 мм, линию изгиба необходимо провести на расстоянии 9,3 мм от кромки заготовок.

Заготовку гнут в тисках, зажав ее между стальными угольниками, длина которых должна быть не меньше ширины заготовки. Если этот размер заготовки окажется больше ширины губок тисков (при гибке основания кассеты основного блока), то угольники необходимо дополнительно стянуть по краям заготовки струбцинками или винтами с гайками. При использовании винтов в угольниках следует просверлить ряд отверстий с шагом 10—15 мм, что позволит закреплять в них заготовки разной ширины.

Закрепляют заготовку так, чтобы линия изгиба или нижняя (кромка надреза оказалась на одном уровне с плоскостью угольников. Заготовку гнут в сторону надреза (линии изгиба) вначале вручную, пользуясь куском ровной доски или толстой (10—12 мм) фанеры (рис. 96). Изогнув примерно на три четверти требуемый угол, на заготовку кладут пластину из текстолита или гетинакса толщиной 4—10 мм и, ударяя по ней молотком в непосредственной близости от линии изгиба, придают детали нужную форму. Само собой разумеется, что поверхности угольников и пластины, через которую наносят удары, должны быть тщательно очищены от опилок, иначе поверхность детали будет повреждена.

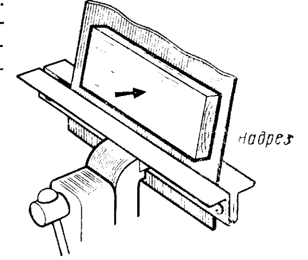


Рис. 96

Разметку передних стенок приборов делают карандашом на листе миллиметровой бумаги размером 120×84 мм. Резметочный лист приклеивают к несущей детали корпуса резиновым клеем. (Этот клей удобен тем, что приклеенный им к металлу бумажный лист при необходимости легко отделяется.) Центры круглых отверстий и контуры отверстий и вырезов иной формы переносят на металл с помощью кернера или (если металл достаточно мягок) острого шила. После этого разметочный лист удаляют и в намеченных центрах сверлят технологические отверстия диаметром 1—1,5 мм, кромки которых затем зенкуют заточенным под углом 90° сверлом диаметром 2,5—3 мм. Далее к передней стенке изнутри крепят с помощью струбцинок прозрачную накладку из органического стекла.

которая будет защищать от повреждений надписи, поясняющие назначение органов управления прибором.

Отверстия в накладке сверлят через отверстия в передней части стенки тем же сверлом, что и прежде. Затем накладку снимают и дальнейшую обработку деталей ведут раздельно. Круглые отверстия диаметром до 6 мм в стенке корпуса и накладке рассверливают до нужного размера постепенно, используя на каждой последующей операции сверло, диаметр которого больше предыдущего не более чем на 1—1,5 мм. Поскольку толщина материала корпуса и накладки невелика, сверлить отверстия в них необходимо с подложенной под деталь пластиной из органического стекла, полистирола или другого ровного и достаточно мягкого материала. В этом случае отверстия получаются правильной круглой формы.

Отверстия прямоугольной формы вначале высверливают по контуру сверлом диаметром 2,5—3 мм с таким расчетом, чтобы расстояние между соседними отверстиями (их краями), а также между ними и контуром будущего отверстия не превышало 0,2—0,3 мм. Затем удаляемую часть металла вырубают зубилом или выкусывают бокорезами, а в пластмассе аккуратно выпиливают лобзиком, после чего обрабатывают напильниками до получения нужной формы и размеров. Точно так же поступают и при вырезании круглых отверстий большого диаметра. Их контуры наносят на деталь с помощью измерительного циркуля. Отверстия диаметром 6—12 мм рекомендуется выпиливать до требуемого размера круглыми и полукруглыми напильниками, проверяя время от времени совпадение отверстий в корпусе и накладке. Отверстия на боковых стенках (под гнездовые части коаксиальных разъемов, винт крепления цоколя радиолампы, под провода, соединяющие его с деталями приборов) изготовляют по разметке, нанесенной штангенциркулем непосредственно на металл.

Для отделки всех приборов применена декоративная самоклеящаяся поливинилхлоридная пленка, имитирующая ценные породы древесины. Ею обклеены наружные поверхности основания блока-кассеты и деталей корпусов приборов-приставок. Чтобы пленка хорошо приклеилась, покрываемые ею поверхности необходимо тщательно очистить от металлических опилок и пыли, а затем протереть марлевым тампоном, смоченным в спирте или ацетоне. Вырезанный по размерам заготовки детали (с припуском по 5—10 мм на сторону) кусок пленки кладут на ровный стол и, отделив узкую (15—20 мм) полоску защитной бумаги, приклеивают к пленке кромку одного из краев детали (рис. 97,*а*). Затем деталь устанавливают, как показано на рис. 97,*б*, и, постепенно отделяя защитную бумагу, тщательно проглаживают пленку тампоном или пальцем, стремясь не допустить, образования воздушных пузырьков. Если они все же образовались, пленку в этом месте отклеивают и приклеивают вновь. Последовательность дальнейших операций видна из рис. 97,*в* и *г*. Излишки пленки обрезают острым ножом вровень с краями деталей, отверстия вырезают ножом, заточенным в виде обоюдоострого клинка, после чего к крышке приклепывают детали *14* и *15* (см. рис. 10).

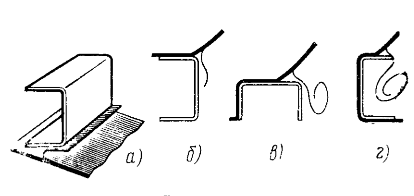


Рис. 97

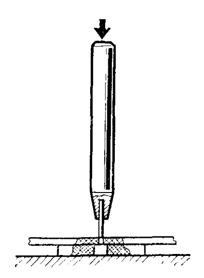


Рис. 98

Несколько слов о надписях, поясняющих назначение органов управления. В описываемом измерительном комплексе они нанесены тушью на полоски плотной бумаги разных цветов, соединенных встык с обратной стороны склеивающей лентой КЛТ. Контуры отверстий переводят на бумагу острозаточенным карандашом через отверстия в прозрачной накладке и вырезают заточенным в виде обоюдоострого клинка ножом на куске гладкой доски или фанеры.

Надписи на панели управления основного блока выполнены иначе — буквы и знаки вырезания в декоративной пленке, которой она обклеена.

Монтажная плата. Платы всех приборов комплекса можно изготовить из стеклотекстолита, обычного текстолита или гетинакса толщиной 1,5—2 мм. Размечают их так же, как и передние стенки приборов: разметочный лист приклеивают к заготовке резиновым клеем, переносят на нее острым шилом или кернером центры всех отверстий, а затем сверлят их сверлами нужного диаметра. При работе с гетинаксом следует учесть, что в месте сверления (с обратной стороны) этот материал скалывается, причем тем больше, чем толще сверло. Поэтому рекомендуется вначале просверлить сверлом отверстие, диаметр которого примерно вдвое меньше требуемого по чертежу. Затем отверстие с обеих сторон зенкуют заточенным под углом 90° сверлом диаметром на 0,6—0,8 мм больше требуемого и после этого рассверливают до чертежного размера.

Опорными монтажными точками в миллиамперметре и вольтметрах постоянного тока служат стойки, представляющие собой отрезки медного луженого провода диаметром 1,5 мм, запрессованные в отверстия платы. Чтобы стойки держались прочно диаметр отверстий под них должен быть на 0,05—0,1 мм меньше. Стойки удобно запрессовывать с помощью оправки (рис. 98), изготовленной из латунного или стального прутка диаметром 5—8 мм. Один конец стойки вставляют в отверстие оправки, другой направляют в отверстие в плате и запрессовывают легкими ударами молотка по свободному концу оправки. Для того чтобы стойка выступала с обеих сторон платы, под нее подкладывают прокладку нужной толщины с отверстием диаметром 2—3 мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вот и подошел к концу наш рассказ об измерительном комплексе — наборе относительно несложных приборов для домашней лаборатории радиолюбителя. Кто-то, возможно, повторит его целиком (так мы рекомендуем поступить тем, кто не имеет опыта в изготовлении измерительной аппаратуры), а кто-то для создания своей лаборатории использует только отдельные идеи и схемные решения. Эксплуатация комплекса в течение нескольких лет выявила некоторые пути совершенствования подобных устройств. Так, в повседневной работе наиболее часто приходится измерять постоянные и переменные напряжения и сопротивление резисторов (участков цепи). Вот почему в состав комплекса целесообразно включить универсальный сменный блок — вольтомметр. Радиолюбителю средней квалификации не составит труда самому разработать подобный блок, основываясь на данных, приведенных в этой книге и на страницах журнала «Радио». Такой вольтомметр нетрудно, в принципе, смонтировать и в основном блоке. Тогда число одновременно используемых приборов увеличится, что расширит возможности измерительного комплекса.

Не исключено, что со временем вы захотите дополнить комплекс более сложными приборами, которые трудно разместить в одном небольшом сменном блоке. В этом случае можно изготовить «двойной» (по ширине) сменный блок, который займет сразу два гнезда в кассете.

Напомним также, что одно из достоинств этого измерительного комплекса — возможность постепенного независимого совершенствования отдельных блоков. Это позволит всегда его держать на уровне ваших требований.

Желаем вам успеха!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Борисов В. Г., Фролов В. В. Измерительная лаборатория начинаю[illegible] радиолюбителя. — М.: Энергия, 1976—136 с.

Власенков А. Т., Солдатенков В. А. Основные измерения в пр[illegible] любителя. — М.: Изд-во ДОСААФ, 1971—112 с.

Меерсон А. М. Радиоизмерительная техника. — Л.: Эн[illegible] деление, 1978. — 408 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ